

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN BANCO DIDACTICO PARA  
ALINEACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS

EYSON AMU MOLINA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECANICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN BANCO DIDACTICO PARA  
ALINEACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS

EYSON AMU MOLINA

Trabajo de grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

ROBERTH COOPER

Ingeniero Mecánico, Msc.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2007

Nota De Aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Ing. NESTOR RAUL PICAY  
Jurado

Santiago de Cali, 15 de Junio 2006

A Dios y a las personas que incondicionalmente han estado para apoyarme, agradezco con toda mi alma su amistad y cariño.

A mis padres, hermanas, esposa e hijas, compañeros de trabajo (Los Nómadas), la Gerencia de Propal Planta Dos que gestionaron para que este trabajo sea realidad.

A todos. Gracias.

**EYSON AMU MOLINA**

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>13</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>16</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>17</b>
<b>1.1 AREA Y CAMPO DE ACCION</b>	<b>17</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLERMA</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1 Identificación del problema</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2 Antecedentes del Problema</b>	<b>17</b>
<b>1.2.3. Descripción del problema</b>	<b>17</b>
<b>1.2.4. Formulación del problema</b>	<b>18</b>
<b>1.2.5. Sistematización del problema</b>	<b>18</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>19</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>19</b>
<b>3. JUSTIFICACION</b>	<b>20</b>
<b>3.1. JUSTIFICACION SOCIAL</b>	<b>20</b>
<b>3.2. JUSTIFICACION ECONOMICA</b>	<b>20</b>
<b>3.3. JUSTIFICACION ACADEMICA</b>	<b>20</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>22</b>
<b>4.1. MARCO CONTEXTUAL</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1. Antecedentes</b>	<b>22</b>

4.1.2. Localización	22
4.1.3. Marco Teórico-Conceptual	22
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA	25
5.1 TIPO DE ESTUDIO DOCUMENTAL	26
5.2 MÉTODO DE ANÁLISIS Y SÍNTESIS	26
5.3. MÉTODO DEDUCTIVO	26
6. ALCANCE DEL PROYECTO	27
6.1. FUENTES DE INFORMACION	27
6.1.1. Fuente primaria	27
6.1.2. Fuente Secundaria	27
7. TECNICAS DE RECOLECCION DE LA INFORMACION	28
7.1. UNIVERSO, POBLACION MUESTRA	28
7.2. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.	28
8. INGENIERIA DEL PROYECTO	29
8.1. FASE DE DOCUMENTACION	29
8.2. FASE DE ANALISIS	29
8.3. FASE DE DESARROLLO O ETAPA FINAL DEL PROYECTO	29
9. ALINEACIÓN DE ELEMENTOS ROTATIVOS	30
9.1. TIPO DE ESTUDIO	30
9.1.1. LA DESALINEACIÓN	30
9.2. DEFINICIÓN	30
9.2.1. Máquina móvil y máquina Estacionaria	31
9.3. LA IMPORTANCIA DE LA ALINEACIÓN	32
9.3.1 Causas de la desalineación	32

<b>9.4. TIPOS DE DESALINEAMIENTO</b>	<b>35</b>
9.4.1. Desalineamiento angular	36
9.4.2. Desalineamiento paralelo	36
<b>10. EVOLUCION DE LA TECNICA DE ALINEAMIENTO</b>	<b>37</b>
10.1 FASE MANUAL	37
10.2 FASE INSTRUMENTAL 1	38
10.3 FASE INSTRUMENTAL 2	40
10.4 FASE LÁSER	41
<b>11. ALINEACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA VIBRACIONAL</b>	<b>43</b>
11.1 EJE TORCIDO	43
11.2. DESALINEACION ANGULAR	44
11.3. DESALINEACION EN PARALELO	45
11.4. PIE SUAVE, PATA COJA (SOFT FOOT)	45
11.5. TOLERANCIAS DE LA ALINEACIÓN	47
<b>12. MATERIAL Y CARACTERISTICAS DEL SHIM</b>	<b>49</b>
<b>13. CONTROLES PREVIOS AL PROCESO DE ALINEACION</b>	<b>50</b>
13.1. PATA COJA	50
13.2. DILATACIONES TÉRMICAS	50
13.3. CONTROL DEL MONTAJE DE LOS ACOPLAMIENTOS	51
13.4. CONTROL DE LAS TUBERÍAS DE SUCCIÓN Y DE DESCARGA	51
13.5. CONTROL DEL ASENTAMIENTO DE LAS MAQUINAS	52
13.6. CONTROL DE LAS BASES	53
13.7. REFERENCIAS DE UBICACIÓN	54
<b>14. INSTALACION DEL SISTEMA DE ALINEACION</b>	<b>56</b>

<b>14.1. CONVERTIR LA INFORMACIÓN</b>	<b>58</b>
<b>14.2. ANÁLISIS DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR VERTICAL</b>	<b>58</b>
<b>14.3. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR VERTICAL</b>	<b>60</b>
<b>14.4. CORRECCIÓN PATA DELANTERA (F)</b>	<b>60</b>
<b>14.5. CORRECCIÓN PATA TRASERA (T)</b>	<b>60</b>
<b>14.6. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO PARALELO VERTICAL</b>	<b>60</b>
<b>14.7. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR HORIZONTAL</b>	<b>61</b>
<b>14.8. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO PARALELO HORIZONTAL PARALELO HORIZONTAL</b>	<b>62</b>
<b>15. COSTOS-BENEFICIOS</b>	<b>65</b>
<b>15.1. BENEFICIOS</b>	<b>66</b>
<b>15.1.1. Beneficio social</b>	<b>66</b>
<b>5.1.2. Beneficio académico</b>	<b>66</b>
<b>16. CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>



## **LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1. Tolerancias de alineación recomendada por SKF</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2. Lista de materiales</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 3. Costo de los equipos</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 4. Mano de obra</b>	<b>66</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1. Colinealidad entre ejes</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2. Máquina móvil y maquina fija</b>	<b>31</b>
<b>Figura 3. Alineación</b>	<b>32</b>
<b>Figura 4. Colinealidad</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5. Datos estadísticos daños en la maquinaria</b>	<b>35</b>
<b>Figura 6. Desalineación angular</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7. Alineación a ojo</b>	<b>38</b>
<b>Figura 8. Alineación con regla</b>	<b>38</b>
<b>Figura 9. Alineación con galgas</b>	<b>38</b>
<b>Figura 10. Alineación con galga y regla</b>	<b>39</b>
<b>Figura 11. Verificación angular entre dos</b>	<b>39</b>
<b>Figura 12. Comparador de carátula</b>	<b>40</b>
<b>Figura 13. Comparador de carátula Instalado de diferentes formas</b>	<b>41</b>
<b>Figura 14. Sistema de Alineación láser</b>	<b>42</b>
<b>Figura 15. Eje Torcido</b>	<b>44</b>
<b>Figura 16. Desalineación angular</b>	<b>44</b>
<b>Figura 17. Desalineación en paralelo</b>	<b>45</b>
<b>Figura 18. Pata coja o soft foot</b>	<b>46</b>
<b>Figura 19. Movimientos laterales</b>	<b>47</b>
<b>Figura 20. Medidas del calzo</b>	<b>49</b>

<b>Figura 21. Comparador de carátula</b>	<b>50</b>
<b>Figura 22. Verificación de excentricidad con el Comparador de carátula.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 23. Verificación de tuberías</b>	<b>52</b>
<b>Figura 24. Control de apoyos</b>	<b>53</b>
<b>Figura 25. Control de bases</b>	<b>53</b>
<b>Figura 26. Verificación de pata coja.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 27. Máquina móvil y máquina estática.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 28. Referencia de ubicación.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 29. Asignación de medidas</b>	<b>56</b>
<b>Figura 30. Toma de datos.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 31. Toma de datos.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 32. Desalineamiento angular.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 33. Corrección del desalineamiento.</b>	<b>61</b>
<b>Figura 34. Corrección del desalineamiento.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 35. Tendencias vibracionales antes y después.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 36. Informe después de alineación con láser.</b>	<b>64</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo1. Foto 1 Motor con problemas eléctricos</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 2. Foto 2 Motor reparado eléctrica y mecánicamente</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 3. Foto 3 Reductor sin uso, presenta problemas en el engranaje</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 4. Foto 4 Reductor reparado, rodamientos nuevos y tren de engranaje arreglado</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 5. Plano 1. Fabricación de mesa en 3 D</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 6. Foto 5 Vista general del banco de alineación</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 7. Foto 6 Vista general del banco de alineación lado motriz</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 8. Foto 7 Vista general del banco de alineación lado transmisión</b>	<b>72</b>
<b>Anexo 9. Foto 8 Ddetalle de guarda y reductor</b>	<b>72</b>
<b>Anexo 10. Foto 9 detalle de sistema para alineación horizontal</b>	<b>73</b>
<b>Anexo 11. Foto 10 Ddetalle sistema de encendido</b>	<b>73</b>

## GLOSARIO

**ACOPLE:** dispositivo mecánico utilizado para conectar los ejes de dos máquinas en rotación.

**ACELERACIÓN:** razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo.

**ACELERÓMETRO:** sensor y transductor cuya entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje de baja impedancia.

**ALINEACIÓN:** posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo mas colineales posible, durante el tiempo de operación normal de la máquina.

**AMPLITUD:** es el máximo valor que presenta una onda sinusoidal.

**ANÁLISIS ESPECTRAL:** es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.

**ARMÓNICO:** son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.

**ARMÓNICO FRACCIONARIO:** armónicos que se encuentran entre los armónicos principales y son fracciones de la frecuencia fundamental.

**AXIAL:** posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.

**BACKLASH:** juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.

**BALANCEO:** procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación, de manera que se pueda eliminar el mayor número de fuerzas inerciales.

**BANDEAMIENTO LATERAL:** son líneas espectrales que aparecen espaciadas a igual frecuencia, alrededor de una línea central. Esta es la mezcla de dos señales, en la cual la línea central pertenece a una y las líneas laterales pertenecen a la otra.

**DESPLAZAMIENTO:** cambio de posición de un objeto o partícula de acuerdo a una sistema de referencia.

**ESPECTRO:** sinónimo de dominio de la frecuencia.

**EXCENTRICIDAD:** variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

**FASE:** es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.

**FATIGA:** tendencia de un material a romperse bajo deflexiones repetidas.

**FRECUENCIA:** es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.

**FRECUENCIA DE ENGRANE (GMF Gear Mesh Frequency):** es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para piñón y engranaje.

**FRECUENCIA DE FALLA DE JAULA (FC):** es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta deterioro en su jaula.

**FRECUENCIA DE FALLA DE ELEMENTO RODANTE (FB):** es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en algún elemento rodante.

**FRECUENCIA DE FALLA DE PISTA EXTERNA (FO):** es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa.

**HORIZONTAL:** generalmente es la posición que se le da al sensor, que va perpendicular al sentido de la gravedad.

**RADIAL:** posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.

**RPM:** otra de las unidades de frecuencia. Equivale al número de ciclos por minuto que presenta la máquina.

**VELOCIDAD:** razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.

**VELOCIDAD NOMINAL:** velocidad de entrada de una máquina.

**VERTICAL:** posición que se le da al sensor, que va en el sentido de la aceleración de la gravedad.

**VIBRACIÓN:** es un movimiento oscilatorio.

**VIBRACIÓN ALEATORIA:** frecuencias que no cumplen con patrones especiales que se repiten.

## **RESUMEN**

Una máquina ideal no produciría vibración porque toda la energía sería canalizada hacia el trabajo que realiza. En la práctica, la vibración ocurre como producto de la transmisión normal de fuerzas cíclicas a través de los mecanismos. Los elementos de una máquina reaccionan unos contra otros y disipan energía a través de la estructura en la forma de vibración.

Un buen diseño producirá bajos niveles de vibración inherentes; sin embargo, como las máquinas se desgastan, las bases se asientan y las partes se deforman se generan cambios en las propiedades dinámicas de las máquinas. Los ejes se desalinean, las partes comienzan a sufrir desgaste, los rotores se desbalancean y las tolerancias se incrementan produciendo problemas de desalineamiento.

Todos estos factores son reflejados en un incremento de la energía de vibración, la cual, cuando es disipada a través de la máquina crea en los soportes cargas dinámicas adicionales considerables. Causa y efecto se refuerzan uno a otro hasta que la máquina finalmente FALLA.

## INTRODUCCION

Uno de los graves problemas que desde sus inicios ha presentado la educación en Colombia (primaria, secundaria, he incluso universitaria) ha sido la ausencia, si no total por lo menos parcial, de herramientas pedagógicas que permitan al estudiante observar los fenómenos que la naturaleza ofrece. Así mismo, pero ya en el campo de la educación superior, esta falencia se hace notoria en algunas universidades, sobre todo en aquellas carreras en las que los fenómenos naturales son manipulados con el objetivo de generar o producir herramientas, máquinas o energía para el bienestar del hombre; Es el caso de las ingenierías y las tecnologías.

Un ingeniero mecánico debe tener plena conciencia de la teoría y las abstracciones que debe manejar, sin embargo, todas las argumentaciones utilizadas por las ciencias naturales deben tener una base experimental. Recordemos la famosa ley de la caída de los cuerpos planteada por Aristóteles. El filósofo griego consideraba que un cuerpo pesado que cae desde determinada altura más rápido que otro objeto más liviano, el cual también cae desde el mismo punto de referencia. Durante la edad media, período bastante especulativo y en el que la experimentación fue casi inexistente por la omnipresencia de Dios en todos los aspectos de la vida, la teoría física aristotélica fue una verdad inapelable cuya sustento no procedía del método científico sino del prestigio filosófico del pensador griego.

No obstante, en el siglo XVII, bastó un simple experimento realizado por Galileo, lanzó desde cierta altura varios objetos de diferente peso y comprobó que todos caían al mismo tiempo y con la misma velocidad, para desmoronar todo un sistema basado en la especulación intelectual.

El anterior ejemplo histórico nos sirve para ilustrar la necesidad de articular, como una necesidad inapelable, la teoría y la práctica.

Esta es la razón de esta propuesta, el Diseño e implementación de un banco didáctico para alineaciones de elementos rotativos, como uso didáctico para la UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE Santiago de Cali. El proyecto esta dirigido al programa de Ingeniería Mecánica proyectado a la realización de prácticas de desalineamiento.



## 1. GENERALIDADES

### 1.1. AREA Y CAMPO DE ACCION

La Ingeniería como una de las tantas ramas de estudio tiene un campo de acción muy amplio. Este proyecto cubre varios de ellos como resistencia de materiales, diseño mecánico, electricidad, etc.

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

**1.2.1. Identificaron del problema.** Debido a que la materia de vibraciones mecánicas es nueva en la carrera de ingeniería mecánica, se ha creado la necesidad de dotar un laboratorio para practicas relacionadas con el ramo, los docentes desarrollan y presentan los temas de forma magistral lo cual no permite al alumno recibir la aplicación inmediata para su desempeño funcional.

**1.2.2. Antecedentes del problema.** La educación universitaria no debe relegar ni desplazar los conocimientos prácticos ya que estos se expresan y dan como resultado habilidades directamente relacionadas con un oficio; la práctica ayuda al estudiante a identificar problemas, generar soluciones, diseñar estrategias, investigar causas, a ejecutar y evaluar los resultados de sus soluciones bien se trate de maquinas, procesos, mecanismos, etc.

Debido a razones de diferente índole, la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente, en la actualidad se esta implementado un laboratorio para realizar pruebas de tipo vibracional, balanceo dinámico, alineación de ejes acoplados rotativamente, análisis de condiciones vibracionales que son habilidades para la carrera de Ingeniería Mecánica.

**1.2.3. Descripción del problema.** En el aspecto específicamente pedagógico, un profesor no enseña todo en el aula de clase; porque carece de herramientas para realizar ensayos, prácticas y simulaciones. Muchas de las preguntas, vacíos y carencias que quedan después de la exposición magistral por parte del profesor en el aula de clase, son resueltas en el laboratorio. Al no existir la experimentación, las leyes y comportamientos que se presentan en la naturaleza y en la industria se dificulta explicar de una manera objetiva. La ausencia de ayudas, medios, herramientas e instrumentos pedagógicos para la enseñanza de los docentes, hace que no se logre desarrollar plenamente las diferentes cátedras, articulando teoría (clase magistral y estudio por parte del estudiante) y práctica (en el laboratorio), generando deficiencias en el egresado y probablemente dificultades en el campo laboral donde lleguen a desempeñarse.

Por esta razón se pretende aportar a la universidad material, maquinaria y montaje para laboratorio, específicamente un banco para alineación de elementos rotativos, para el desarrollo de prácticas y laboratorios enfocado al análisis del desalineamiento. De esta forma, los estudiantes no tendrán como única herramienta la teoría. Se espera que con este aporte, las falencias que presentan los estudiantes a la hora de abordar la práctica sino desaparecen totalmente, entonces disminuirán en cuanto al conocimiento y la puesta en práctica de los conceptos teóricos en las áreas de vibraciones mecánicas, diseño mecánico, mantenimiento de equipos, cinemática, etc.

**1.2.4. Formulación del problema.** ¿Cómo realizar la fabricación y montaje de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos, con el fin de desarrollar prácticas y laboratorios enfocado al desalineamiento de ejes roto dinámicos?

**1.2.5. Sistematización del problema.** Para desarrollar prácticas de laboratorios encaminadas a realizar pruebas físicas de desalineamiento y desplazamiento en ejes, necesitamos formularnos varias preguntas:

- ¿Como construir un banco didáctico con todos sus requerimientos funcionales?
- ¿Se necesita describir los elementos teóricos que generan el soporte ingenieril del proyecto?
- ¿Es necesario analizar los costos e inversiones del proyecto?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir un banco didáctico para conocer y corregir el desalineamiento horizontal, vertical y angular en ejes acoplados dinámicamente.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Conocer los tipos de desalineamientos en equipos rotacionales.

Hacer la consecución de información técnica de tipo bibliográfica, normas y de las prácticas en fábrica sobre los procesos de alineamiento en elementos rotativos.

Modelado tridimensional de los elementos.

Escribir guía para la práctica de laboratorio.

### **3. JUSTIFICACION**

Como se mencionó, la Universidad Autónoma de Occidente se encuentra en proceso de dotación de un laboratorio de vibraciones mecánicas con el fin de que se puedan realizar prácticas estudiantiles. Por el momento, algunos estudiantes han presentado proyectos de grado en los cuales se desarrollan herramientas pedagógicas para la comunidad estudiantil.

Teniendo en cuenta este contexto, se ha decidido colaborar con la universidad en la dotación de este equipo para un correcto proceso de aprendizaje.

Se decidió construir, con recursos propios y la ayuda de La productora de Papeles S.A. PROPAL, Un banco de tipo didáctico que sirva como herramienta de aprendizaje en el campo de la ingeniería mecánica.

El resultado del proyecto, será una descripción paso a paso para realizar las prácticas de laboratorio, tanto para el docente como para el estudiante donde se puedan obtener diferentes datos en desalineamiento angular, paralelo y horizontal en y como corregirlos.

#### **3.1. JUSTIFICACION SOCIAL**

El proyecto se estructura para la universidad Autónoma de Occidente, especialmente para los miembros de la facultad de Ingeniería Mecánica, con el cual se busca que el profesional de esta institución sea competente en el medio para que así se incremente la oferta de sus servicios.

#### **3.2. JUSTIFICACION ECONOMICA**

Para que una empresa o institución logre estar en el sector competitivo y permanecer a pesar de la gran demanda de productos y servicios, debe buscar siempre un mejoramiento continuo, tanto interno como externo que brinde al mercado, un producto o servicio de excelente calidad; por tal motivo es importante la implementación de laboratorios que permitan comprobar a través de la práctica la teoría, mejorando el nivel académico de los estudiantes y por consiguiente la imagen de la institución, haciéndola tentativa en servicios para la comunidad externa.

#### **3.3. JUSTIFICACION ACADEMICA**

El proyecto propuesto busca mediante la construcción de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos, con el fin de dar apoyo técnico a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica y logra, una mayor interacción entre la teoría y la practica, permitiéndole al estudiante afrontar el

proceso de conocimiento de una manera más efectiva por medio de la experimentación.

Para lograr el objetivo se aplican los conocimientos adquiridos en costos, diseño mecánico, circuitos eléctricos, dibujo técnico y mantenimiento industrial.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. MARCO CONTEXTUAL

**4.1.1. Antecedentes.** La universidad Autónoma de Occidente, con su nueva sede ya viene realizando pruebas de laboratorio en muchas materias como física, química, faltando algunas áreas de conocimiento, a pesar de que se cuenta con suficiente espacio en sus instalaciones.

Se ha contado con el buen propósito de algunos docentes en la consecución de permisos de tipo educativo en algunas empresas de la región con el fin de desarrollar y poner en práctica los conocimientos teóricos que son esenciales para la formación del Ingeniero.

**4.1.2. Localización.** El proyecto se centra en la variabilidad de implementar las prácticas de laboratorio en la Universidad Autónoma de Occidente que garantice obtener profesionales con una visión más amplia, para que sean capaces de competir en el medio y posesionarse como profesional apetecido en el mercado nacional.

**4.1.3. Marco Teórico-Conceptual.** Debido al impacto que tiene el “alineamiento” correcto entre ejes, o más específicamente hablando del “desalineamiento” en la vida útil, el consumo de energía, consumo de elementos rodantes y afectación a la operación de las plantas, se harán las siguientes consideraciones al respecto.

En diversos estudios realizados en muchas empresa y fabricantes de maquinarias rotativa acoplada por ejes, se ha demostrado que, el desalineamiento es la principal causa de por lo menos el 50% de las fallas en maquinarias rotativas.<sup>1</sup>

El desalineamiento no es fácil de detectar en las máquinas que están en operación. Las fuerzas radiales transmitidas de un eje a otro, son difíciles de medir externamente. No existe instrumentación que pueda ser utilizada para medir directamente la magnitud de las fuerzas aplicadas a los rodamientos, ejes, sellos y acoples.

Generalmente, lo que observamos son algunas consecuencias que se relacionan con el desalineamiento de los ejes; y que resultan en algunos efectos que observamos a través de:

✓ Incremento de temperatura de la carcasa.

---

<sup>1</sup> Tecnología Avanzada Para Mantenimiento [CD-ROM]. SEMINARIO DE ALINEACIÓN DE EQUIPOS ROTACIONALES (2004: Bogota). Memorias del seminario alineación de equipos rotacionales. Bogota, 2004. 1 CD-ROM.

- ✓ Disminución de vida útil de rodamientos, sellos, ejes y acoples.
- ✓ Incremento de la vibración axial y radial en las máquinas acopladas.
- ✓ Fugas de aceite, grasa y otros fluidos en los sellos retenedores.
- ✓ Ruptura de apoyos o soportes en las máquinas.
- ✓ Daño en cimentaciones y bases.
- ✓ Daño o aflojamiento de tornillos de fijación.
- ✓ Deformación de carcasas.
- ✓ Incremento en el consumo de energía eléctrica.

Todos estos fenómenos se ven reflejados en el aumento de costos para el mantenimiento y vida útil de las máquinas.

El desalineamiento es la mayor causa de daños en las máquinas acopladas; sin embargo, a pesar de conocerse sus efectos en los componentes rotativos de máquinas y, por consiguiente grandes pérdidas de producción, tiempos perdidos; entre otros. En la actualidad se hace muy poco para resolver este problema; como se mencionó, el grado de desalineamiento ha sido difícil de determinar en operación, y los procedimientos de tipo correctivo son inadecuados, complicados y por lo general consumen mucho tiempo. En la actualidad, se utiliza el análisis de vibraciones como herramienta para detectar el desalineamiento con la máquina en operación, aunque como se mencionó, los valores medidos no son directamente proporcionales a las fuerzas a las que los rodamientos se encuentran sometidos.<sup>2</sup>

Por otra parte, para la corrección del alineamiento, los métodos antiguos y más utilizados han sido tradicionalmente la regleta, las galgas y los indicadores de carátula. Actualmente existen métodos modernos como la alineación por láser. Como definición de Alineamiento de Maquinaria podemos mencionar lo siguiente: los ejes de rotación de las máquinas se deben encontrar colineales (un eje de rotación es la proyección del otro), y lo anterior se considera bajo condiciones de operación o de trabajo normales como temperatura, carga y velocidad; el grado de alineación es directamente proporcional a la velocidad de giro de las máquinas acopladas.

En la práctica, la alineación es tan necesaria que se cataloga como parte de la vida útil de los equipos rotacionales; sin una buena alineación las consecuencias en el funcionamiento son muy altas.

Los sistemas de alineación han surgido un gran progreso y tecnificación que en donde el grado de precisión son día a día mucho mas altos; podemos corregir la alineación horizontal, vertical, angular y la pata coja (mas adelante explicaremos como es el fenómeno de pata coja o pie suave).

En la actualidad existen muchos tipos de bancos con el fin de corregir la alineación de tipo horizontal, vertical y angular; estos bancos nos ayudan a detectar y conocer con más facilidad estos tipos de fenómenos que ocasionan

---

<sup>2</sup> Ibíd., p. 19

problemas en las máquinas rotativas. El banco de alineación consta de un motor, una caja reductora, una bomba, un cardan. Dependiendo de la necesidad del medio en donde se va a utilizar; estos equipos van soportados o instalados en una mesa con su respectiva tortillería, fácil de transportar y manipular.

Con este banco de laboratorio, se tiene la ventaja que se puede trabajar y hacer sus respectivas practicas antes de ir a la realidad, verificando la alineación de las respectivas maquinarias, una con respecto a otra de acuerdo a las normas de severidad en alineación; según la velocidad que es el parámetro mas importante de tener en cuenta en esta practica.



## 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la fabricación del banco de alineación se utilizara materiales que ya no están utilizados en el campo industrial pero si es de mucho servicio como herramientas de aprendizaje en la educación superior. Se cuenta con un motor, caja reductora, se necesita una mesa para la instalación de los equipos a utilizar.

Se diseñaron los planos con sus respectivas medidas en tres dimensiones utilizando el programa de Autocad.

Esta es la lista de materiales utilizados en el proyecto:

- ✓ Motor Siemens 1125 rpm, 220 voltios, 60 HZ, cos 0.74, 2.4 HP.
- ✓ Una caja reductora marca Sew Sucomme Tipo R702,  $i=7:8.4$ , 36 Kg, lubricado con aceite ISO 220.
- ✓ juego de acoples referencia 1030 T10 marca FALK.
- ✓ 12 metros de ángulo  $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ .
- ✓ Platina de  $2\frac{1}{2}$ .
- ✓ Platina de  $\frac{5}{8}$ .
- ✓ Platina de  $\frac{1}{4}$ .
- ✓ Tortillería M-10 x 40.
- ✓ Tortillería de M- 12 x 50.
- ✓ Soldadura 7018 de 3/16.
- ✓ Soldadura 7010 de 3/16.

Los equipos que se utilizaran en este proyecto, son equipos que se encuentran fuera de línea debido a las condiciones de eficiencia. En las figuras se puede observar como estaban y, después de un mantenimiento general de todas sus partes quedan cumpliendo las especificaciones técnicas y con un óptimo funcionamiento.

Después de tener todos los materiales, se empieza con la construcción del banco de alineación en las instalaciones de la empresa Propal S.A., donde se encuentran todas las herramientas, instrumentos y equipos necesarios para la fabricación.

Cuando se construya el banco, se deben realizar ensayos y prácticas para mejorar los diferentes elementos o dispositivos que intervienen en el funcionamiento de este y así lograr un resultado óptimo de funcionamiento del equipo.

### **5.1. TIPO DE ESTUDIO DOCUMENTAL.**

Esta investigación consiste en un análisis de la información escrita, La recopilación de textos, páginas de Internet, consultas de información técnica en la empresa PROPAL S.A., información técnica de cursos y capacitaciones en el campo de diagnóstico de condiciones y alineación de equipos con comparador de carátula y equipo láser darán pautas para establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas, modelos matemáticos, métodos racionales del estado actual del conocimiento respecto al desalineamiento entre ejes.

### **5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS Y SÍNTESIS.**

Se utiliza este método de investigación ya que se realiza un estudio pormenorizado y es utilizado en la fabricación de un banco para alineación de ejes, una vez seleccionado el material se pasa a la síntesis, en donde se agrupa toda la información de una manera lógica, secuencial y ordenada de los modelos.

### **5.3. MÉTODO DEDUCTIVO.**

El método deductivo es aquél método que toma lo general como punto de partida para llegar a aspectos particulares y de carácter puntual. En este proyecto se emplea este método porque se realizará un estudio general de sistemas de alineación con todos sus componentes, pero finalmente se va a construir un banco para uso y prácticas de laboratorio.

## 6. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto de construcción, de un banco para alineación de ejes es de gran importancia para cualquier estudiante de Ingeniería, no sólo de la Universidad Autónoma de Occidente sino de cualquier otra institución, en el grado que la Universidad permita la consulta de otras instituciones. La parte teórica y procedimientos que presentará el proyecto será motivo de consulta para docentes y estudiantes.

### 6.1. FUENTES DE INFORMACION

Establecer las fuentes de información dentro de una investigación, equivale a determinar de dónde se va a obtener el conjunto de diversos datos que se requieren para poder llevarla a cabo.

Las siguientes son el tipo de fuentes que se utilizan en este proyecto:

**6.1.1. Fuente primaria.** Se utilizará la fuente primaria que es la fuente que se lleva a cabo por contacto directo con los sujetos, en este caso en la empresa PROPAL S.A.

**6.1.2. Fuente secundaria.** Se utilizará la fuente secundaria ya que se realizarán exploraciones de fotos e información obtenida en libros, seminarios de capacitación, casos reales en la empresa y por ultimo información de Internet.

## **7. TECNICAS DE RECOLECCION DE LA INFORMACION**

Se usará el Internet y los libros que contienen la información del tema a tratar.

### **7.1. UNIVERSO, POBLACION MUESTRA**

El Universo es el primer nivel que se maneja de la información, la Universidad Autónoma de Occidente, es la beneficiaria del proyecto, ya que en sus instalaciones se podrá ejecutar una práctica de laboratorio en el área de las ingenierías.

La muestra es la construcción de un equipo para prácticas de laboratorio en el área de ingeniería Mecánica de la Universidad Autónoma de Occidente.

Las Universidades del sector de Cali como la Universidad del Valle, pioneras en la enseñanza de carreras de ingeniería mecánica, eléctrica y electrónica, poseen grandes laboratorios de ciencias térmicas, con este proyecto se pretenden aportar con el desarrollo universitario y de enseñanza de la Universidad Autónoma de Occidente para que aumente sus equipos de laboratorios.

### **7.2. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.**

Después de recopilada toda la información pertinente para la construcción del sistema de alineación, se comienza la fabricación de del banco, se realizaran tablas como ayuda visual para la organización de los datos, estas ayudas serán verificadas con los materiales que tenemos a nuestra disposición para confrontar su viabilidad en el proyecto. Se realizaran los planos de la parte mecánica en Autocad, se tomaran fotos como ayuda visual de los pasos ejecutados.

## **8. INGENIERIA DEL PROYECTO**

El diseño del banco de alineación, se ha realizado siguiendo criterios didácticos y teniendo en cuenta las normas de seguridad necesarias para garantizar una fiabilidad del proyecto realizado.

Para realizar este proyecto, se decidió dividirlo en tres fases, de acuerdo al desarrollo del proyecto, estas son: fase de documentación, fase de análisis, y fase de desarrollo o etapa final.

### **8.1. FASE DE DOCUMENTACION.**

La primera fase, será la de recolección de los datos necesarios para el inicio del proyecto, que consiste en recopilar información sobre sistemas de alineación, importancia de la alineación, vibraciones, diagnostico de condiciones que permitan dar un conocimiento más profundo y conciso para el desarrollo del tema.

### **8.2. FASE DE ANALISIS.**

En esta fase se realizaran las diferentes pruebas, de alineación angular, vertical y horizontal, en base a los datos e información obtenida en la primera etapa.

### **8.3. FASE DE DESARROLLO O ETAPA FINAL DEL PROYECTO.**

En esta etapa final de la construcción, montaje y pruebas de puesta en marcha del sistema de alineación, se realizaran reuniones con el asesor del proyecto el Ingeniero Roberth Cooper, docentes de la facultad de ingeniería, esta reuniones permitirán una total familiarización con el proyecto, además de la inclusión de criterios de fabricación que tiendan a facilitar la enseñanza en el laboratorio dentro de una planificación ajustada al máximo y para adelantar en lo posible la fecha del comienzo del proyecto, se ha adquirido algunos recursos, lo que ha permitido comenzar con la realización del plano y por ende tener una idea de los materiales que se necesitan para la elaboración del proyecto.

## 9. ALINEACIÓN DE ELEMENTOS ROTATIVOS

### 9.1. TIPO DE ESTUDIO

**9.1.1. La Desalineación.** Mantenimiento, vibraciones mecánicas y economía, son tres vocablos íntimamente relacionados y de total vigencia actual. Después de algunos años desconociendo la importancia y a la vez la necesidad, del aprovechamiento de las vibraciones generadas por la maquinaria industrial para evaluar su estado mecánico. Si bien es cierto que el mantenimiento tributa directamente a la economía, este efecto puede tener lugar de forma rentable o puede ocasionar pérdidas considerables. La presencia incontrolable de vibraciones en una máquina hace inminente el fallo catastrófico de esta debido al daño en cadena que ocasiona la ploriferación de las fuerzas dinámicas, acarreando perdidas de valor económico.

En muchas empresas del campo industrial. Se ha desarrollado la actividad del mantenimiento sobre la base de dos estrategias fundamentales. Por una parte la máquina es operada de una forma continua de acuerdo al régimen de trabajo de la industria en cuestión, efectuándose la intervención del mantenimiento cuando se presente alguna avería en la máquina, lo que conocemos como estrategia de mantenimiento correctivo.

Por otro lado el mantenimiento se aplica a maquinarias en intervalos de tiempos programados que recomienda el fabricante, o por confiabilidad, frecuencias de fallas según la su historia de trabajo; lo que evidencia una estrategia de mantenimiento preventivo programado.

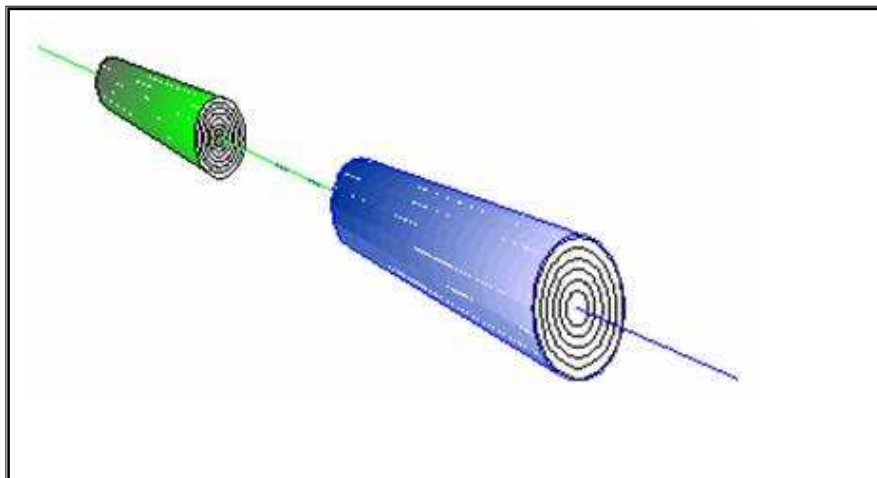
### 9.2. DEFINICIÓN

Como definición de Alineamiento de Maquinaria podemos mencionar lo siguiente: los ejes de rotación de las máquinas se deben encontrar colineales (un eje de rotación es la proyección del otro), y lo anterior se considera bajo condiciones de operación o de trabajo normales como temperatura, carga y velocidad; el grado de alineación es directamente proporcional a la velocidad de giro de las maquinas acopladas. En la figura podemos ver como los ejes son colineales uno con otro.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Ibíd., p. 19.

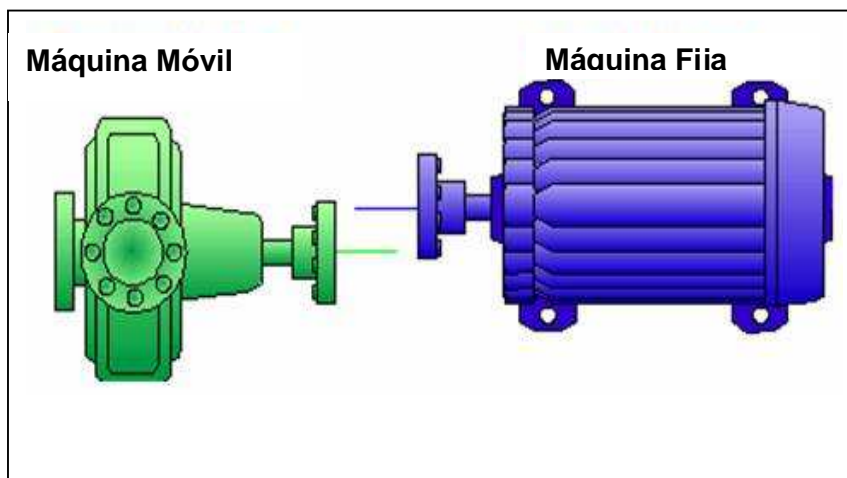
Figura 1. Colinealidad entre ejes.



Fuente. SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto 2005. p.16

**9.2.1. Máquina Móvil y Máquina estacionaria.** Al alinear dos máquinas, una se señala como maquina móvil y la otra se señala como estacionaria. Por lo tanto, el desalineamiento es expresado describiendo la posición de la máquina movible concerniente a la máquina estacionaria. En la figura nos explica y nos identifica la máquina estacionaria y la máquina fija.

Figura 2: Maquina fija v maquina fija



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.2

El centro rotatorio de la máquina estacionaria es una línea del dato o punto de referencia señalada como cero. El desalineamiento es determinado encontrando la posición del centro rotatorio de la máquina móvil en lo referente a la estacionaria en dos planos, (x) horizontal y la (y) vertical.

### 9.3. LA IMPORTANCIA DE LA ALINEACIÓN

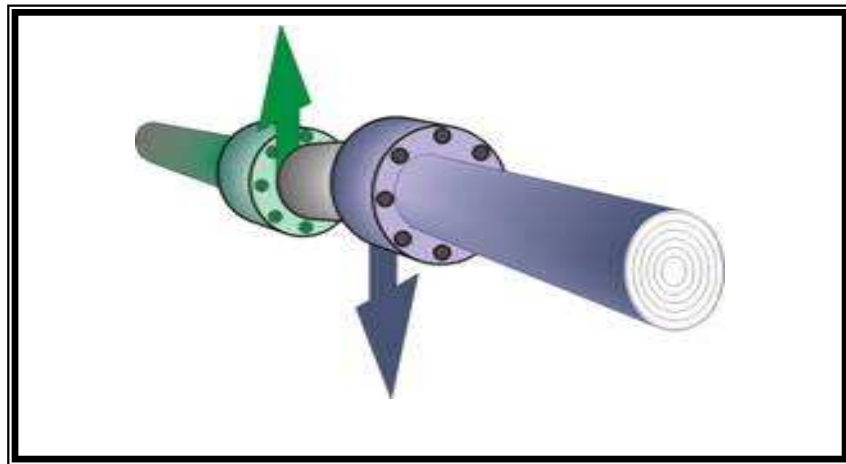
Los diagnósticos que surgen del análisis vibratorio de equipos rotativos con niveles en alarma, generalmente indican que hay dos causas principales que los originan:

- ✓ Desbalanceo de rotores.
- ✓ Desalineación entre los ejes de máquinas conductora y conducida.

Ambos problemas involucran aproximadamente el 50 % de las anomalías.<sup>4</sup>

La alineación es aplicable a todo tipo de acoplamientos, tanto en máquinas Horizontales como en máquinas verticales, como lo muestra la figura.

Figura 3: Alineación



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.21

**9.3.1 Causas de la desalineación.** A continuación se dan a conocer las posibles causas que ocasionan el desalineamiento en maquinarias acopladas. Estos fenómenos causantes no hay que dejarlos pasar por alto, en lo sucesivo hay que minimizarlos lo más posible y entre ellos tenemos:

- ✓ Los esfuerzos a que están sometidas las máquinas, que generan movimientos relativos de las mismas.
- ✓ las radiaciones de calor que provocan diferentes dilataciones térmicas entre componentes.

---

<sup>4</sup> Ibíd., p. 19



- ✓ los montajes incorrectos de tuberías de succión y descarga, soportes, acoplamientos, etc.
- ✓ Las fundaciones defectuosas.
- ✓ Procesos de alineación deficientes debido a falta de entrenamiento del personal y/o falta de elementos apropiados.

Generalmente, estas son algunas consecuencias que se relacionan con el desalineamiento de los ejes; y que resultan en algunos efectos que observamos a través de:

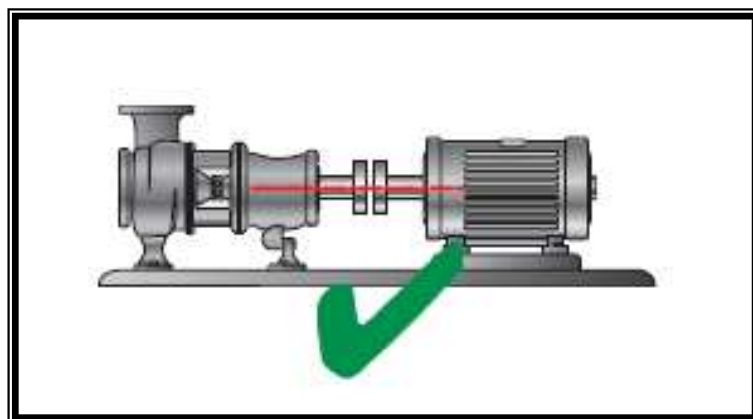
- ✓ Disminución de vida útil de rodamientos, sellos, ejes y acoples.
- ✓ Incremento de temperatura de la carcasa.
- ✓ Incremento de la vibración axial y radial en las máquinas acopladas.
- ✓ Fugas de aceite, grasa y otros fluidos en los sellos retenedores.
- ✓ Ruptura de apoyos o soportes en las máquinas.
- ✓ Daño en cimentaciones y bases.
- ✓ Daño o aflojamiento de tornillos de fijación.
- ✓ Deformación de carcasas.
- ✓ Incremento en el consumo de energía eléctrica.
- ✓ Defecto de acoplamiento de máquinas durante el montaje
- ✓ Expansiones térmicas en el proceso de trabajo
- ✓ Fuerzas transmitidas a la maquina desde tuberías y miembros de soporte
- ✓ Bases débiles.

No se pueden dejar a un lado los problemas de tipo externo; hay que evaluarlos muy bien y tratar de minimizarlos al máximo, estos nos ocasionan daños iguales o más catastróficos que los daños de tipo mecánico. Para que no suceda hay que tener una buena fundación y capacidad de soporte de las cargas, un buen trabajo de obra civil, buena instalación de pernos de anclaje, los acoples entre las máquinas deben de ser los ideales al tipo de trabajo y la velocidad de giro, los ajustes y tolerancias de los agujeros deben ser de acuerdo a la norma de ajustes y tolerancias.

Con una buena alineación tenemos la ventaja en la vida útil de los rodamientos, menor tensión en los acoples reduciendo considerablemente el riesgo de sobrecalentamiento y hasta una ruptura, los elementos de sellado no sufrirán desgaste evitando las contaminaciones y escape de lubricantes, el consumo de energía se disminuye ya que la fuerza de accionamiento no es tan alta, el sonido anormal y las vibraciones tienden a desaparecer.

El la grafica nos explica y se observa una buena alineación, se ve como debe quedar la colinealidad de los ejes uno con otro.

Figura 4: Colinealidad

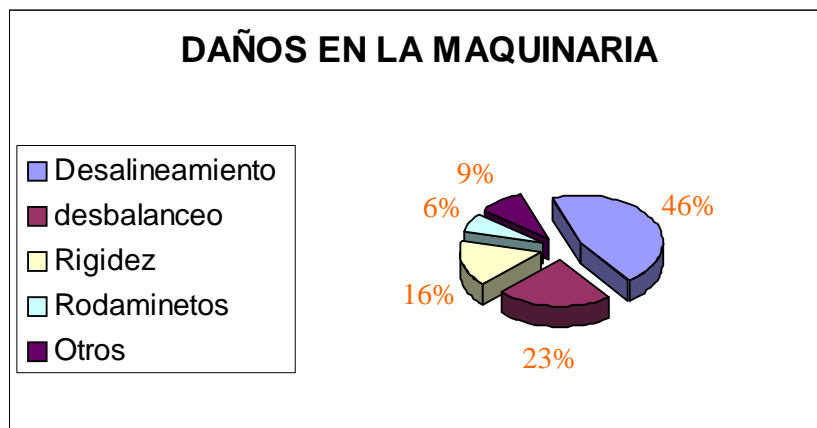


Fuente: SKF. Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.22

El hombre siempre ha estado inquieto con el fenómeno de la desalineación en equipos rotacionales, lo ha llevado a crear estrategias que le han dado muy buen resultado. Los métodos antiguos y más utilizados han sido tradicionalmente la regleta, las galgas y los indicadores de carátula que por último lo han llevado a descubrir nuevas herramientas como los equipos láser. A nivel nacional la Productora de Papeles S.A. PROPAL, es una de las pioneras en el campo del mantenimiento predictivo; en donde se lleva un programa de alineación en todas sus máquinas rotativas viéndose reflejado en la optimización de la vida útil de estas.

Según la SKF, nos dice que los daños en las máquinas rotativas son producto de cuatro fenómenos: como la rigidez en un 16%, daño en rodamiento en un 6%, desbalanceo en un 23% y otros daños en un 6%. En la gráfica estadísticamente nos explica claramente como es el porcentaje de estos daños.

Figura 5: Datos estadísticos daños en la maquinaria



Fuente: SKF. Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.13

Sin embargo, a pesar de conocerse que el desalineamiento es la mayor causa de la falla en la maquinaria, y por consiguiente grandes pérdidas de producción, tiempos muertos, entre otros problemas, en la actualidad se hace muy poco para resolver este problema. Como mencionamos, el grado de desalineamiento ha sido difícil de determinar en operación, así como los procedimientos correctivos son inadecuados, complicados y por lo general consumen mucho tiempo. En la actualidad, se utiliza el análisis de vibraciones para detectar el desalineamiento con la máquina en operación, aunque como se mencionó, los valores medidos no son directamente proporcionales a las fuerzas a las que los rodamientos se encuentran sometidos.

#### 9.4. TIPOS DE DESALINEAMIENTO

Cualquier movimiento transmitido a través de los ejes causa serias averías al comportamiento de las máquinas y para evitarlas debe establecerse con precisión los cambios que soportan las máquinas desde sus estados en frío o en reposo hasta su operación de normal funcionamiento. Al conocer estos cambios se considera que al dejar desalineadas las máquinas en condiciones ambiente, cuando adquieren su estado de funcionamiento dinámico, sus ejes queden alineados, es decir que la línea central de sus ejes coincidan entre sí. Los tipos de desalineamiento que afectan el buen funcionamiento de las máquinas son:

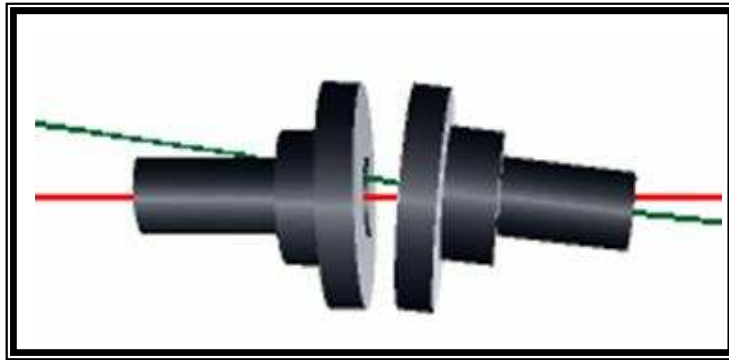
- ✓ Desalineamiento angular
- ✓ Desalineamiento paralelo.

La desalineación produce una variedad de síntomas en tipos diferentes de máquinas y se deben consultar las formas de vibraciones promedios para

máquinas sanas con el fin de determinar los niveles permisibles vibracionalmente hablando.

**9.4.1. Desalineamiento Angular.** La desalineación angular produce un momento de flexión en cada eje, generando fuertes vibraciones axiales. Estas altas vibraciones o fuerzas extrañas en el equipo las soportan directamente los rodamientos es decir que no hay ni existe un paralelismo en los acoples de los equipos. Esto ocasiona sonido anormal, en los acoples y dependiendo de la velocidad de la maquina los daños pueden ser de mayor magnitud como se habló anteriormente. No hay equipo que soporte este tipo de desalineamiento, los ejes que transmiten la potencia no se encuentran total mente alineados. En la figura que vemos a continuación, se observa como los ejes no se están completamente alineados, es decir no coincide uno con otro.

Figura 6: Desalineamiento Angular



Fuente: SKF.Condition Monitorirg. Cali. Agosto. 2005. p.23

**9.4.2. Desalineamiento Paralelo.** Es la distancia perpendicular entre la línea central de un eje y la misma línea central del otro eje, hay un desfase entre los ejes o un descompensamiento en cuanto a las distancias este fenómeno se corrige moviendo paralelamente la máquina. Este fenómeno obliga a la maquina a realizar unas fuerzas de alta energía. daños ocasionados por este fenómeno son de alta consideración en los ejes de transmisión de potencia, en los acoples, en los sellos retenedores y en todos las partes de la máquina que dependen de una buena alineación paralela.

También se pueden presentar los fenómenos de del desalineamiento angular y el desalineamiento paralelo que es la combinación de ambos fenómenos.

## 10. EVOLUCION DE LA TECNICA DE ALINEAMIENTO

Debido a los altos daños que han ocurrido en las máquinas rotacionales por el fenómeno de la desalineación, el hombre se ha tomado la tarea de minimizar el porcentaje de desalineamiento; descubriendo herramientas que ayuden al buen funcionamiento de estas.

Este desarrollo evolutivo se considera como la mejor ayuda para evitar el daño prematuro de la maquina. Las técnicas desde su creación han pasado por una serie de etapas o fases las cuales se describen a continuación.

### 10.1 FASE MANUAL

La primer forma de alineación que se utilizaba era el ojo y la regla, (conocimiento empírico) o forma manual y artesanal; de acuerdo al criterio del mecánico se le realizaba la alineación (“siempre se ha hecho así, y queda muy bien”). El tiempo de vida útil del equipo era muy corto, provocando así las grandes emergencias quedando la máquina por fuera de servicio por mucho tiempo; el esfuerzo de mano de obra se incrementaba con jornadas altas fuera del tiempo laboral.<sup>5</sup>

De una manera simple, la desalineación angular o paralela puede ser medida con una **regla**, asentándola sobre los acoples en cuatro posiciones cada 90°. Con este sistema no se corrige el alineamiento paralelo, angular o combinados. Esta herramienta de alineación todavía se utiliza y tiene comúnmente su lugar en el proceso de alineación de precisión, con el fin de obtener una alineación inicial. En las figuras nos ilustran un alineamiento a ojo y un alineamiento con la regla.

---

<sup>5</sup> Ibíd., p. 19

Figura 7: Alineación a ojo.

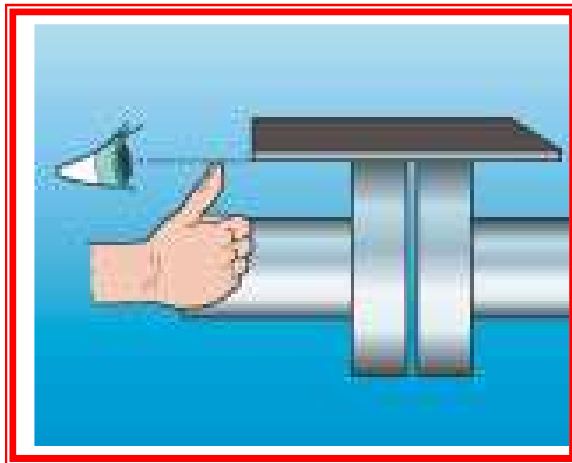
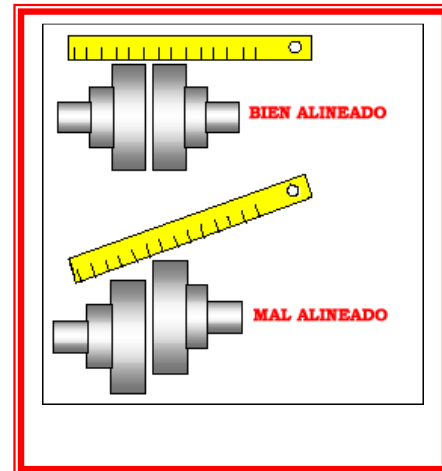


Figura 8: Alineación con regla.

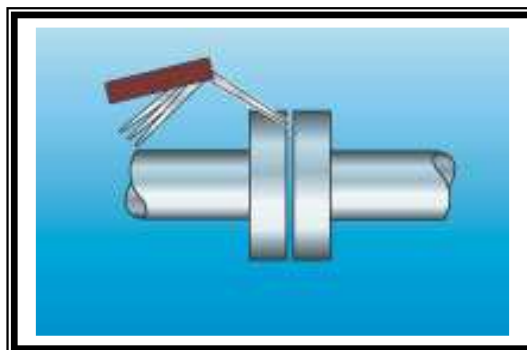


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto 2005. p.36

## 10.2 FASE INSTRUMENTAL 1

En la fase instrumental 1, el hombre crea una herramienta de mayor precisión, esta herramienta lleva como nombre de galga, son una serie de laminillas de diferentes medidas en acero. Por medio de esta herramienta nace el criterio de medición entre acoples y así se corrige bajo tablas recomendadas por los fabricantes los fenómenos de desalineación angular, paralelo y la combinación de ambos; hay más aproximación en las mediciones e Incrementando la vida útil de los equipos; pero los de alta velocidad (1800 rpm en adelante), no son favorecidos potencialmente. En la figura vemos la ilustración del uso de las galgas en la alineación de máquinas acopladas.

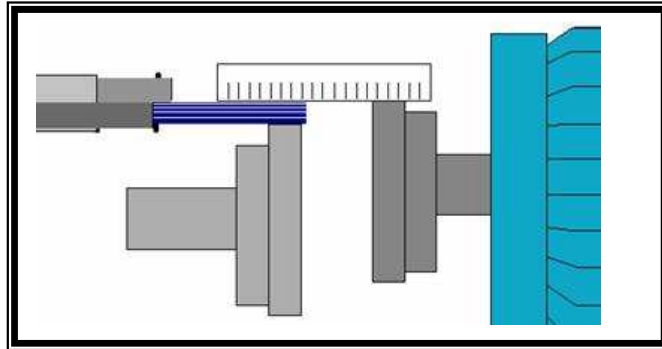
Figura 9: Alineación con galgas.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto 2005. p.38

Con el método recto de la galga, se mide la compensación usando un borde y una regla según lo demostrado en el siguiente gráfico.

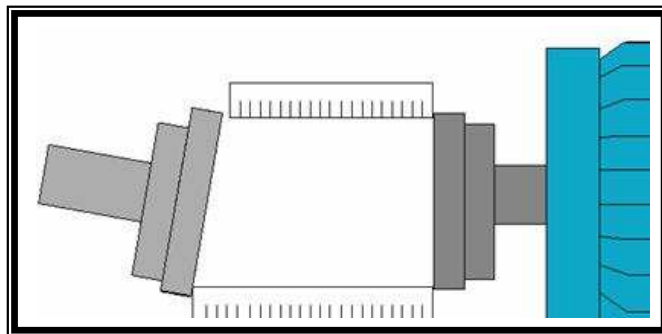
Figura 10: Alineación con calaa v



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.13

El desalineamiento angular es medido usando galgas midiendo la diferencia de distancias entre los acoples a 180 grados, en la figura que se encuentra a continuación se observa que por medio de las galgas se puede determinar el ángulo de desalineamiento entre los acoples que transmiten el movimiento.

Figura 11: Verificación angular

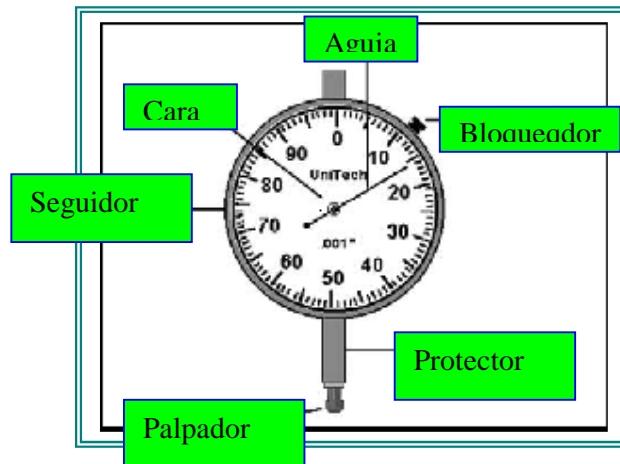


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.36

### 10.3 FASE INSTRUMENTAL 2.

**El comparador de carátula** es un instrumento de medición con alto porcentaje de precisión, consta de un reloj que nos da mediciones que no conseguiríamos con la regla o las galgas. En la siguiente figura vemos un comparador de carátula.

Figura 12: Comparador de

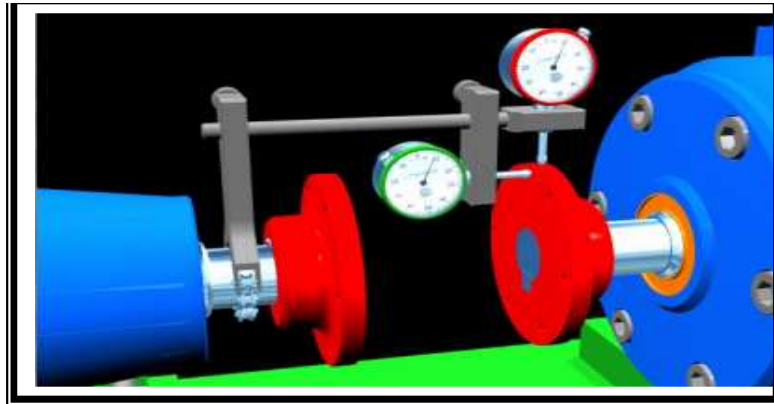


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.36

Con la ayuda de este instrumento se garantiza un mínimo error en desalineamiento, se pueden tomar diferentes datos a distintos ángulos de rotación con un mínimo error en la desalineación siendo favorecidos los equipos que funcionan a velocidades muy altas. En la figura vemos que el comparador de carátulas se facilita para ser instalado de diferentes formas.



Figura 13: Comparador de carátula instalado diferentes formas.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.38

En esta figura nos ilustra que se deben montar fijo o estático sobre un eje, normalmente el de la bomba, y su punta palpadora en contacto con la generatriz del acople del otro (motor). Obteniendo en forma directa con valores de paralelismo y angularidad en los planos horizontal y vertical, girando ambos ejes una vuelta completa, mientras se toman lecturas cada 90°, realizando mediciones simultaneas tanto paralelas como angularmente.

#### **10.4 FASE LÁSER.**

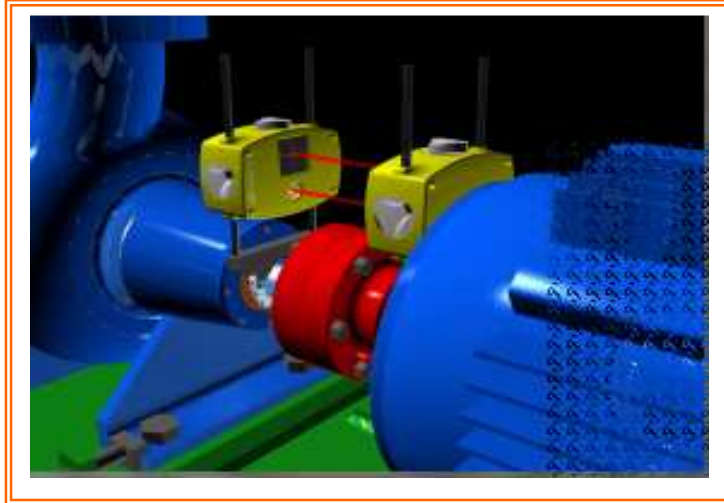
Desde la introducción de las mediciones con sistema láser en la década del 80, estos equipos han ido evolucionando aceleradamente en forma conjunta con los adelantos gracias a la industria electrónica.

El reemplazo de los dispositivos con comparadores por cabezales emisores / receptores láser de fácil colocación, ofrece las siguientes ventajas:  
No hay prácticamente deflexión de dispositivos y poseen un alcance suficiente. Realizan el cálculo de la desalineación total en el acoplamiento e indican que movimientos se deben realizar.

- Poseen memoria e impresión gráfica de los resultados, trabajan con giro parcial.
- El monitoreo de la maquina se realiza en tiempo real
- Tienen indicación de base floja (soft foot).
- Poseen inclinómetros de precisión.
- A sus cualidades, le agregan una gran precisión en la toma de las mediciones. La alta precisión en la alineación aumentaron significativamente la vida de los equipos, evitando las grandes emergencias en los procesos.
- El tiempo de alineación se reduce dando más credibilidad.

En la siguiente figura vemos un sistema de alineación láser, vemos como los equipos se pueden alinear estando las maquinas acopladas.

Figura 14: Sistema alineación láser.



Fuente: SKF, Curso de Alineación fixtur laser. Cali. Agosto 2005. p.13

Los **equipos láser** han demostrado ser los más precisos y al mismo tiempo proveen de rapidez para el proceso de alineación, además son prácticos por su adaptabilidad en el montaje sobre los ejes.

## **11. ALINEACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA VIBRACIONAL**

A mediados de los años 50, la medición y el análisis de vibraciones se han convertido en una técnica sumamente útil para controlar el estado de la maquinaria en general. Esta técnica es conocida con el nombre de MECANÁLISIS o análisis de vibraciones mecánicas, el término MECANÁLISIS se deriva de la contracción de dos palabras: MECÁNICA y ANÁLISIS; ambos términos involucran la vibración de las máquinas, movimiento del eje, temperatura y cualquier otra condición que permita determinar el estado de una máquina durante su funcionamiento normal. Estas técnicas de Mekanálisis son realmente eficaces y los métodos relativamente simples.

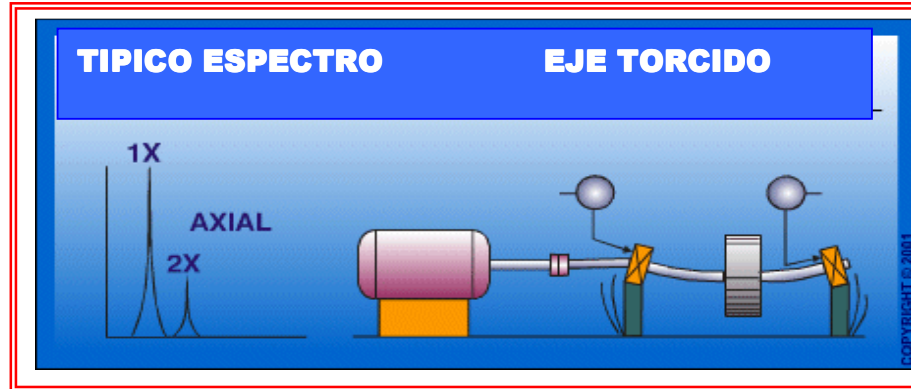
Incluso las máquinas en perfecto estado operativo tendrán de alguna manera indicios de vibración debido a defectos insignificantes a consecuencia de las tolerancias de fabricación. La desalineación en los equipos rotacionales la podemos medir, así disminuimos el alto índice vibracional, analizando una serie de espectros, formas de onda que nos arroja el equipo analizador de vibraciones; su interpretación y su entendimiento se da a medida que se adquiere la experiencia.

Hay muchos fenómenos que nos ocasionan el desalineamiento en las maquinas rotacionales acopladas unas con otras; estos fenómenos se detectan con mucha facilidad utilizando la tecnología de análisis de vibraciones al que se le llama en el campo del mantenimiento mecánico como predictivo. Con esta tecnología se puede detectar una desalineación debido a eje torcido, por desalineación angular, por desalineación en paralelo, por desgaste interno en chumaceras, por pata coja o pie suave las cuales las se explicaran a continuación desde el punto de vista vibracional.

### **11.1 EJE TORCIDO**

Los problemas de eje torcido, causan una alta vibración axial cada que realiza un giro, este fenómeno es muy destructivo, ocasionando daños en los sistemas o mecanismos de los equipos que se encuentran acoplados. Este fenómeno se ve reflejado en los acoples; es recomendable utilizar el comparador de carátula para confirmar si el eje se encuentra torcido antes de comenzar una alineación. En la figura se puede ver con claridad el fenómeno de eje torcido; tiende a realizar esfuerzos muy altos axialmente. En un colector de datos o analizador de vibraciones, este fenómeno se observa con claridad en las tomas que se hagan axialmente.

Figura 15: Eje torcido

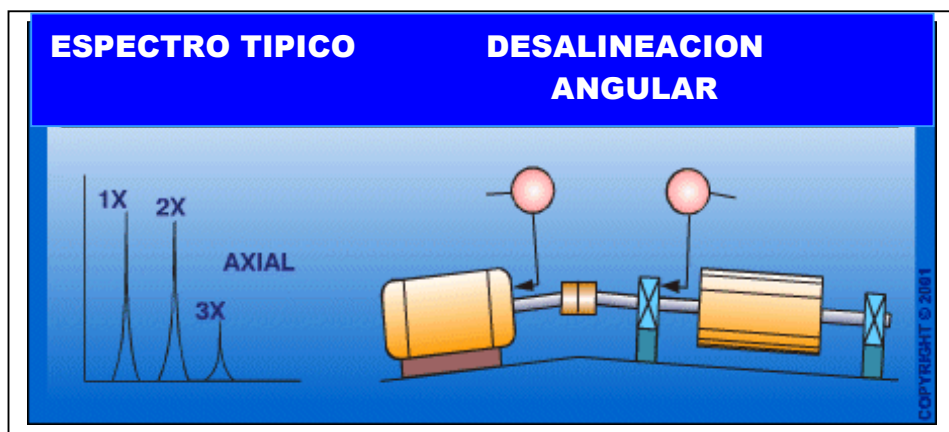


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.15

## 11.2. DESALINEACION ANGULAR

El desalineamiento angular es caracterizado por la alta vibración axial, altos valores vibratoriales cada 180° en desfase, sonido anormal y muy fuerte en el acople. Los valores vibratoriales se detectan con facilidad en el eje axial, con espectros predominantes a la velocidad de giro. Estos síntomas nos llevan e indican que hay un problema en el acople. El desalineamiento angular severo puede excitar muchos armónicos múltiples a la velocidad de giro como vemos en la figura.

Figura 16: Desalineación angular

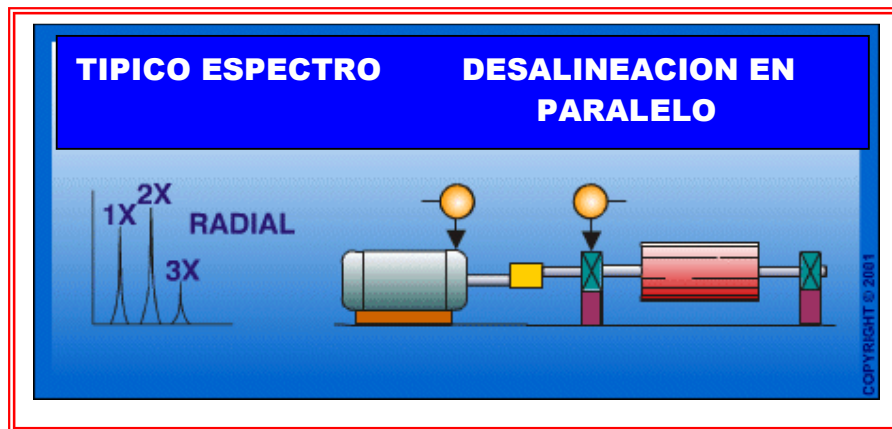


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.16

### 11.3. DESALINEACION EN PARALELO

Se conoce también como, desalineamiento compensado, las vibraciones en este fenómeno son muy altas y destructivas, ya que los esfuerzos radiales y axiales que soportan los rodamientos no son benéficos. En la figura se puede ver como se presenta dicho fenómeno; la amplitud en los espectros son muy pronunciados y, vibracionalmente con un equipo de análisis de vibraciones, se mostrarían con mas frecuencia verticalmente. El eje es obligado bruscamente a buscar su colinealidad y es cuando los rodamientos, ejes, canastillas del acople, acoples o manzanas, sellos retenedores, sellos mecánicos sufren daños muy graves.

Figura 17: Desalineación en Paralelo.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.13

### 11.4. PIE SUAVE, PATA COJA (SOFT FOOT)

El pie suave es una condición que podría causar muchos problemas de tipo repetitivo en la maquinaria durante el proceso de la alineación. Este fenómeno se presenta cuando una de las patas de la maquina no esta haciendo contacto directo con la base de apoyo, esto hace que la máquina no quede bien firme y en el momento de la alineación, se ve que la máquina no responde a la alineación.

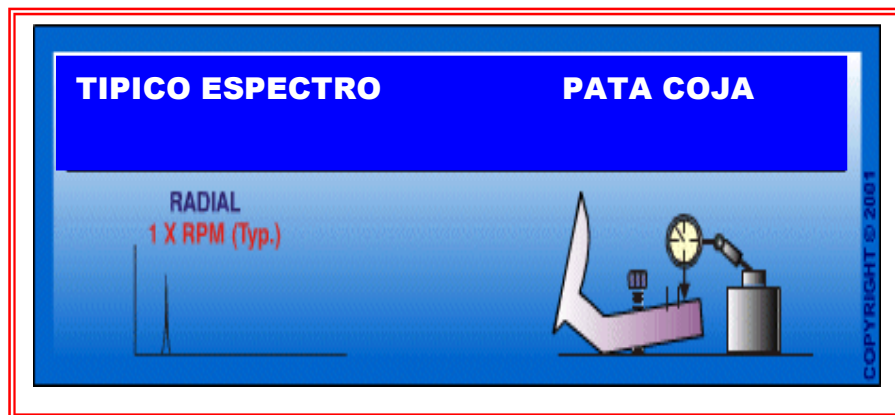
Las deformaciones de las bases también afectan la alineación de las máquinas, si la fundación o la obra civil de esta no se encuentra bien rígida se puede presentar el fenómeno de embobamiento haciendo imposible la alineación. Nunca se deben apretar los tornillos de las patas cuando se detecta que al menos una de estas no hace contacto directo con la base. Además de introducir deformaciones, se corre el riesgo de romper la pata. Como indica la

figura, se puede verificar con un comparador de carátula si en verdad existe el fenómeno de pata coja.

Se puede una pata por vez, y volver a apretar. Cuando el equipo está bien asentado en la base, el movimiento del comparador es mínimo (hasta 0,03 mm suele ser normal) y similar para todas las patas.

Si hay un defecto en el asentamiento de la pata, el comparador nos indicará cual es la defectuosa para luego entrar a corregirla compensándola con un suplemento.

Figura 18: Pata Coja o Soft foot

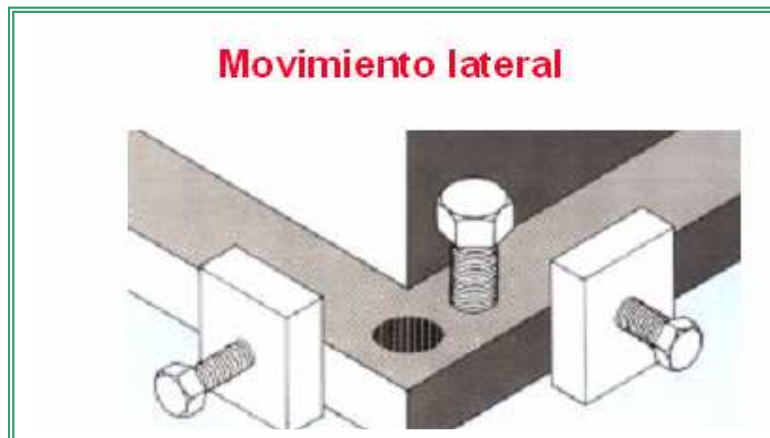


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.38

Es muy difícil de lograr valores de alineación excelentes en el sentido horizontal cuando se mueven las máquinas con palancas o golpes, los cuales no son recomendados, y tampoco es fácil adaptar los equipos hidráulicos en todas las posiciones.

Por eso se crea la necesidad en tornillos en placas soldadas a la estructura, como se aprecia en la foto, no solo facilita el movimiento, también se ahorra mucho tiempo y se evitan maniobras que pueden ser riesgosas para las máquinas como golpes o para el personal como esfuerzos con palancas, suplementos no apropiados.

Figura 19: movimientos laterales



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.38

### 11.5. TOLERANCIAS DE LA ALINEACIÓN

Las tolerancias en la alineación de equipos rotacionales es un tema de mucha discusión. Las tolerancias en la alineación de equipos o maquina rotacionales, dependen de la velocidad de gira, tipo de acople, temperatura del fluido a transportar.


Por eso los fabricantes recomiendan las tolerancias al cual se debe dejar la máquina, y todos al final coinciden e los valores permisibles.

Cada fabricante de equipos rotacionales, equipos para acoplar, o equipos para diagnostico de desalineación de la maquina utilizan datos técnicos en cuanto a los parámetros de desalineación.

En este caso se consideran las recomendadas por la SKF, ellos son fabricantes de rodamientos y de equipos para análisis de condiciones.

Los valores indicados en este cuadro son orientativos. En primer lugar se deben respetar las indicaciones del fabricante, y tener en cuenta además el tipo de acoples a ser usados, holguras de las máquinas vinculadas, dilataciones térmicas.

Cuadro 1. Tolerancias de alineación recomendadas por la SKF



**Tolerancias de alineación**

rpm	mm	mm/100 mm
0-1000	0,13	0,10
1000-2000	0,10	0,08
2000-3000	0,07	0,07
3000-4000	0,05	0,06
4000-6000	0,03	0,05

SKF 9 Monitoring 38

Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.38.



## 12. MATERIAL Y CARACTERISTICAS DEL SHIM

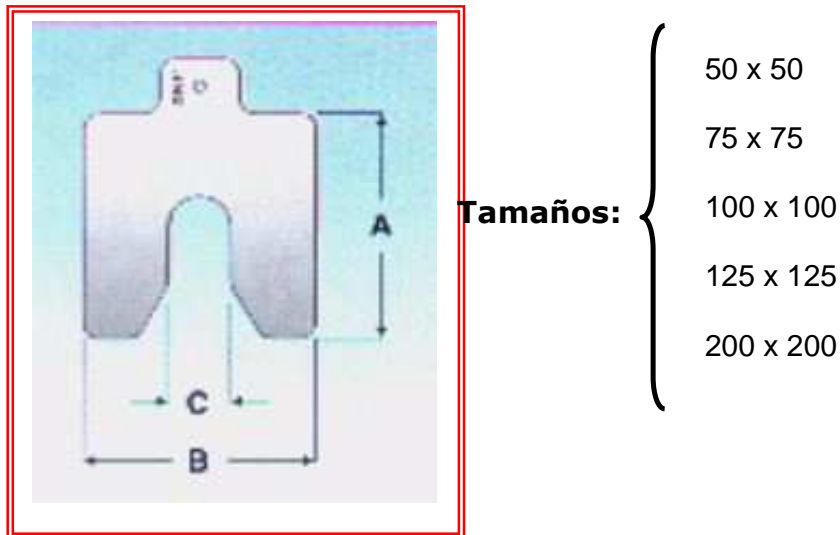
Para alinear las máquinas en sentido vertical o compensado, pueden suplementarse sus bases con chapas de bronce o aceros inoxidables. Estas se proveen en tamaños normalizados y espesores calibrados.

No es aconsejable utilizar chapas galvanizadas, aluminio, hojalata, ya que corren el riesgo de deterioro prematuro por el medio o interperie.

Los suplementos y la base deben estar perfectamente limpios, libres de rebabas. Las laminas de acero inoxidable se recomiendan que sean (AISI 304 o 403), y en Bronce estabilizado a deformaciones dinámicas según la norma ASTM 1330. Debe tener la misma forma de la superficie de contacto de la máquina. El espesor máximo de shims a usar es de 3 mm o 1/8", si es mayor se debe usar un bloque sólido de acero comercial con el fin de que no se presente el fenómeno de resorte y la alineación sea falsa.

A continuación se observa en la siguiente figura una serie de medidas para la fabricación de shims o la atención de estos ya fabricados que recomienda la SKF.

Figura 20: medidas del calzo



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.39

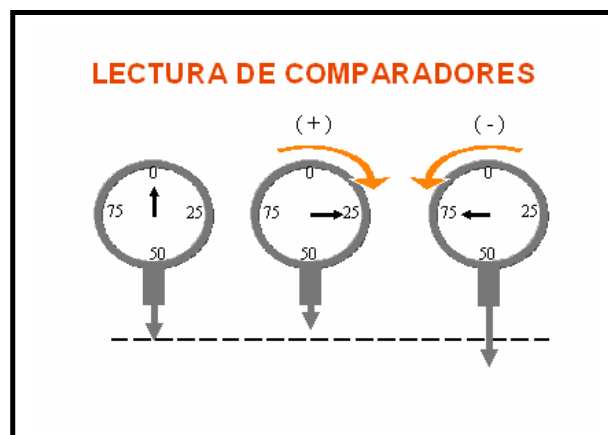
**Espesores:** 0,05 - 0,10 - 0,20 - 0,25 - 0,40 - 0,50 - 0,70 - 1 - 2 mm

### 13. CONTROLES PREVIOS AL PROCESO DE ALINEACION

Antes de utilizar el comparador de carátula hay que tener las siguientes recomendaciones de acuerdo a la lectura con los comparadores de caratula.

- ✓ Lecturas positivas corresponden al palpador entrando en el reloj. La aguja gira en sentido horario.
- ✓ Lecturas negativas corresponden al palpador saliendo del mismo. La aguja gira en sentido antihorario.
- ✓ Si la carrera del palpador es de 10 mm, es conveniente dar la precarga en 5 mm.

Figura 21: Comparador de carátula.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. Cali. p.36

Se deben tener en cuenta algunas consideraciones preliminares antes de iniciar un trabajo de alineación.

**13.1. Pata Coja:** Se verifica colocando el embolo del comparador sobre cada pata del equipo que va a ser movido, después se procede a aflojar el tornillo que la asegura, si la aguja del comparador se desplaza, esa medida es la cantidad que se debe calzar la pata que se esta verificando.

**13.2. Dilataciones Térmicas:** Se debe considerar la expansión térmica o contracción que puedan tener lugar en cada componente de la máquina a ser alineado. Como ejemplo, un cojinete de 1 metro con 100 ° C presentaría una dilatación de 1,2 mm.<sup>6</sup>

---

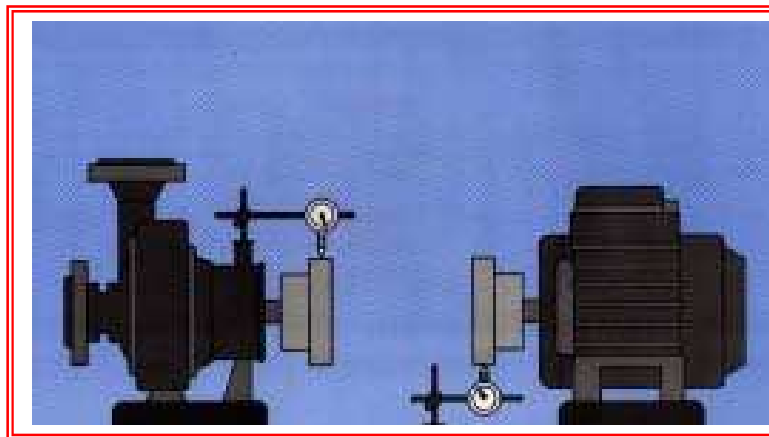
<sup>6</sup> Ibíd., p. 19

✓ Por este motivo es conveniente realizar la alineación en dos etapas: la inicial con máquina a temperatura ambiente, y la final a temperatura de operación.

### **13.3. CONTROL DEL MONTAJE DE LOS ACOPLAMIENTOS:**

- ✓ Chequear que el ajuste sea el correcto
- ✓ Controlar la excentricidad del eje y acoplamiento como se muestra en la figura siguiente.
- ✓ Los acoplamientos dentados se deben limpiar profundamente y se lubrican con grasa adecuada, especialmente si son de altas revoluciones.

Figura 22: Verificaron de excentricidad con el comparador de



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.40

### **13.4. CONTROL DE LAS TUBERÍAS DE SUCCIÓN Y DE DESCARGA.**

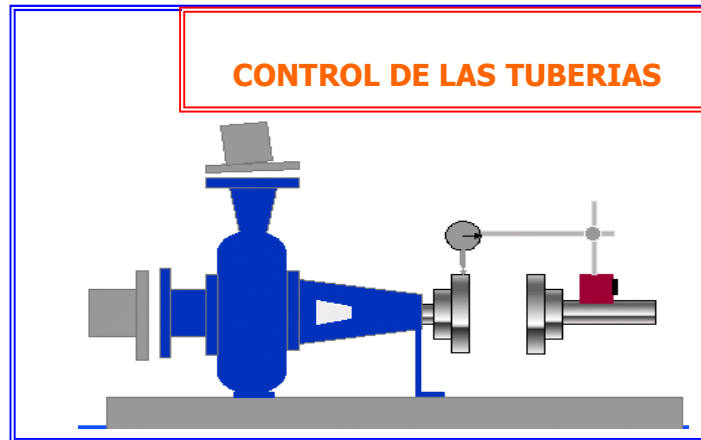
Las tuberías no deben realizar grandes esfuerzos sobre las bridas de las bombas ya que a estas no se las debe considerar como soportes. Las juntas de expansión pueden resolver el problema cuando las bridas no coinciden, o cuando hay dilataciones o contracciones por temperaturas.

Se aconseja controlar preventivamente el estado y o existencia de los soportes de tuberías, como asimismo la correcta tensión de los resortes de los soportes elásticos. Colocando un comparador fijo en la manzana de acople del lado motor, para luego palpar la manzana de acople de la bomba como se muestra en la figura. En esta posición se controlará que al ajustar las bridas

de la bomba a las tuberías de aspiración y descarga, el comparador no tendría que detectar desplazamiento alguno.

En la práctica no es así y en algunos casos puede aceptarse una desviación máxima de 0,05 mm.<sup>7</sup>

Figura 23: verificación de tuberías



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.42

### 13.5. CONTROL DEL ASENTAMIENTO DE LAS MAQUINAS

Montar el comparador radialmente, en sentido vertical sobre la máquina fija, palpando la movable, estando esta con sus tornillos de fijación ajustados. Aflojar de una pata por vez, y volver a reapretar.

Cuando el equipo está bien asentado el movimiento del comparador es mínimo (hasta 0,03 mm suele ser normal) y similar para todas las patas.<sup>8</sup>

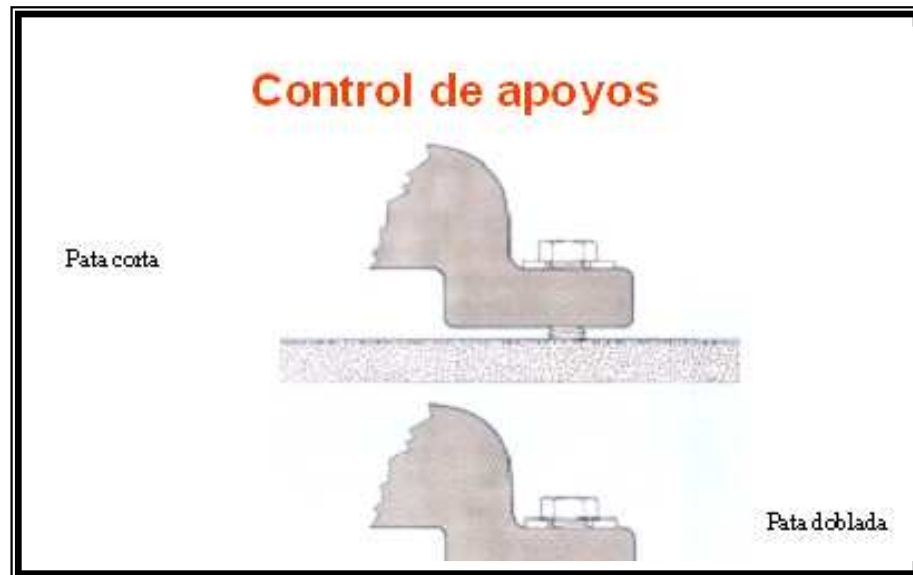
Si hay un defecto en el asentamiento de la pata, el comparador nos indicará cual es la defectuosa. Se puede verificar con sondas el espesor faltante. Cuando en el proceso de alineación las mediciones dan valores erráticos, seguramente estamos frente a un problema de este tipo.

---

<sup>7</sup> Ibid., p. 19

<sup>8</sup> Ibid., p. 19

Figura 24: Control de apoyos



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.43

### 13.6. CONTROL DE LAS BASES

Las deformaciones de las bases afectan la alineación de las máquinas. También deben ser controladas. Nunca se deben apretar los tornillos de anclaje cuando la base debajo del mismo no hace contacto con la fundación. Además de introducir deformaciones, se corre el riesgo de romper la pata. Como indica la figura inferior, se puede verificar con comparador.

Figura 25: Control de bases.

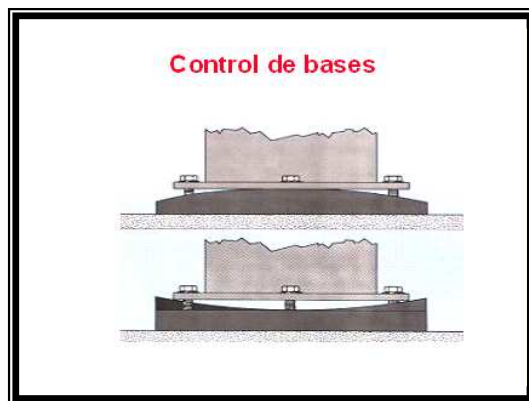
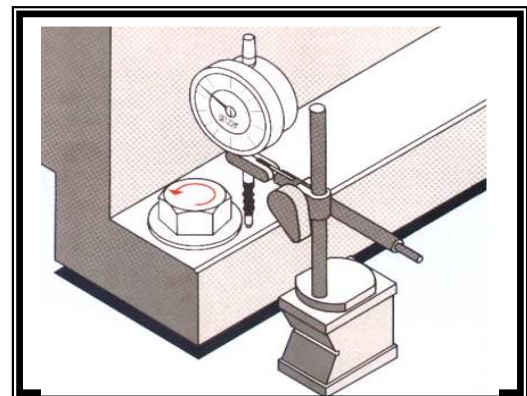


Figura 26: Verificación Pata coia



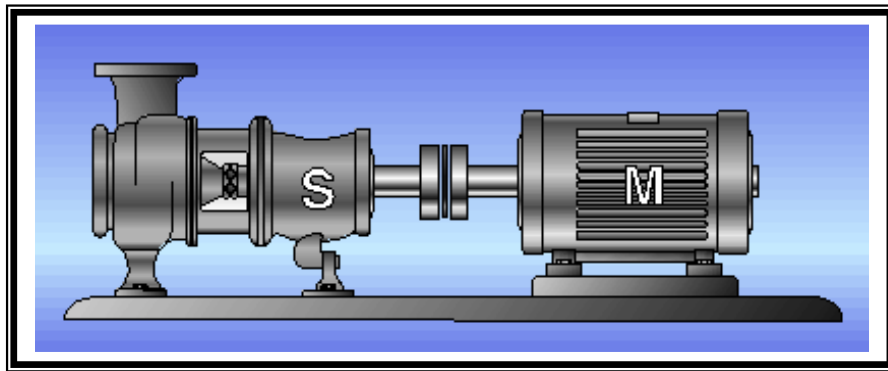
Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.43

### 13.7. REFERENCIAS DE UBICACION

Es aconsejable definir las referencias a fin de evitar interpretaciones diferentes. Como se ve en la siguiente figura El letra (S) indica que la posición de la maquina móvil es más abajo o a la izquierda de la fija.

El observador mira de frente a la máquina fija o maquina estacionaria catalogada como punto de referencia. Los ejes giran en sentido horario. Denominamos máquina estacionaria aquella que su movimiento resulta complejo, como el caso de bombas, ya que las tuberías lo impiden. Generalmente la máquina móvil es el motor eléctrico.

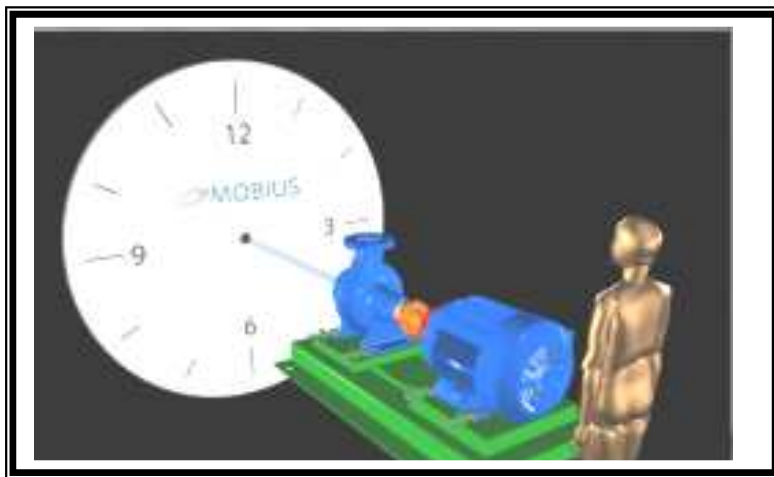
Figura 27: Máquina móvil y Máquina estática.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Cali. Agosto. 2005. p.49

Para identificar los puntos de recolección de datos, el técnico en alineación se debe ubicar en la parte delantera de la máquina a la cual se piensa mover; o sea la parte móvil. El punto cero queda en la parte superior, según las manecillas del reloj girando a 90° ubicamos las 3, luego en la parte inferior las 6 y en la por último las 9 al lado izquierdo o sea a 180 del las 3 como nos muestra la figura.

Figura 28: Referencia de ubicación.



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. Cali. p.45

## 14. INSTALACION DEL SISTEMA DE ALINEACION

El sistema de alineación se monta sobre los ejes de los equipos a alinear, el soporte de los indicadores se monta en el eje del equipo que se va a cambiar de posición (máquina móvil), en caso de tener un poste para tomar medidas, este se instalara en el eje del equipo al cual se va a alinear (máquina fija), asegurarse de que los émbolos de los comparadores puedan salir y entrar sin interferencia sobre el acople o eje de la maquina fija, después de verificar que los soportes de montaje están rígidos, marca en el alojamiento de los cojinetes los lugares o puntos de recopilación de datos, estas marcas van cada 90° comenzando en el extremo superior que es el punto 0, después ira el punto 3, luego el 6 y por ultimo el 9, la dirección es el mismo sentido de giro de la maquina (esto reducirá los efectos del desgaste de cojinetes en las medidas de alineamiento).

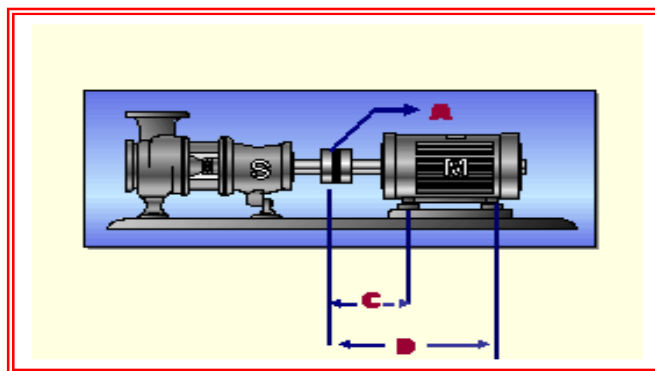
Antes de tomar las medidas de alineamiento, anote las siguientes medidas preliminares:

El diámetro del círculo (acople) por donde giran los émbolos de los comparadores o el círculo imaginario trazado por el poste durante la rotación del eje, este diámetro se designa con la letra: A

La distancia desde el centro del acople hasta la primer pata del equipo móvil se designa con la letra C.

La distancia desde el centro del acople hasta la segunda pata del equipo móvil se designa con la letra C. en la siguiente figura se puede ver con facilidad las asignaciones en las máquinas.}

Figura 29: Asignación de medidas



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.49



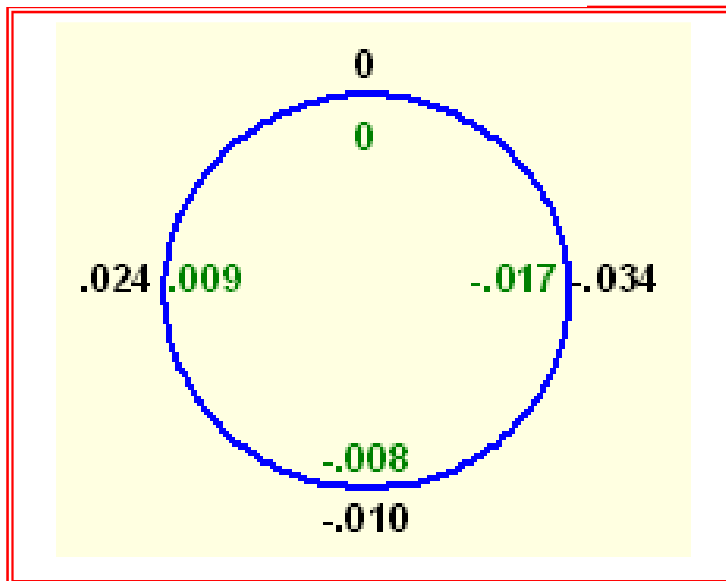
Haga girar el eje 360°, parando en los tres puntos o lugares de recopilación de datos que se marcaron y anotando las medidas del comparador, si el eje gira hasta pasar un punto de recopilación de datos, haga que siga girando en la misma dirección hasta que vuelva a la marca que se pasó.

Dibujamos un círculo en una hoja de papel, anotamos por fuera del círculo las medidas paralelas y por dentro del mismo las medidas angulares.

Para verificar que las medidas paralelas y angulares quedaron bien tomadas, sumamos las medidas de arriba con las de abajo, estas sumas deben ser iguales a las sumas de las medidas laterales.

Ejemplo: Las lecturas iniciales de alineamiento de este equipo fueron las siguientes como se muestra en la figura:

Figura 30: Toma de datos



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.50

La suma de las medidas paralelas sería: (medidas en pulgadas.)

$$0 + (-.010) = -.010$$

$$.024 + (-.034) = -.010$$

La suma de las medidas angulares sería:

$$0 + (-.008) = -.008$$

$$.009 + (-.017) = -.008$$

Si los cálculos no coinciden, ello puede ser causado por los siguientes problemas:

- Acoplamiento o ejes ovalados.
- Medidas anotadas incorrectamente.
- Existe movimiento axial del eje.

#### **14.1. CONVERTIR LA INFORMACIÓN.**

Para corregir los problemas de alineamiento, debe visualizarse el desalineamiento que existe. Esto se hace con más facilidad si se compensa con la flexión del soporte y las medidas se convierten a números relativos a cero.

Para compensar con la flexión del soporte, reste la cantidad de la flexión a la medida paralela inferior. La cifra resultante indica desviación debida solamente al desalineamiento.

Las medidas de arriba y abajo ya son relativas a cero porque los puntos de inicio superiores en los dos cuadrantes eran cero.

Para convertir las medidas de lado a lado, sume todas las medidas paralelas de lado a lado. Después sume todas las medidas angulares de lado a lado. Al sumar estas cifras, no tenga en cuenta los signos. Ponga las sumas en la posición de los números originales mayores.

Dé a las sumas el signo de los números originales mayores. Estas sumas representan las desviaciones totales del comparador de un lado al otro. Los ceros representan los puntos de inicio.

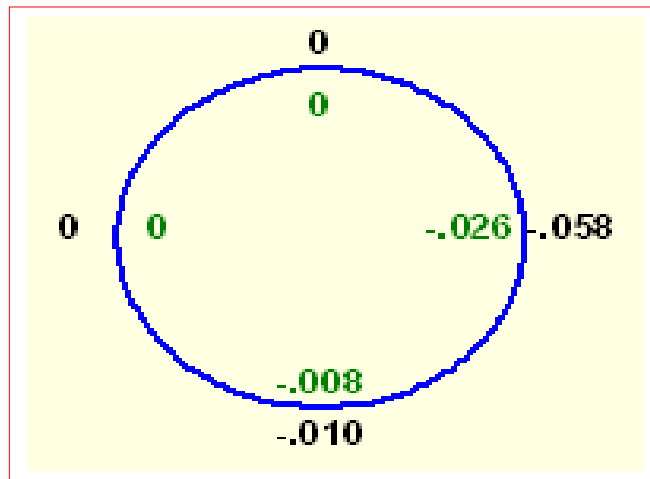
Los ajustes verticales deben hacerse primero. Esto porque los cambios de los shims pueden causar alteraciones laterales del componente. Después de haber hecho los ajustes verticales, el componente puede moverse sobre los shims para eliminar el desalineamiento horizontal.

Antes de hacer algún movimiento es buena idea analizar las medidas para así tener una visión de la situación de alineamiento.

#### **14.2. ANÁLISIS DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR VERTICAL**

Una desviación negativa del comparador angular de arriba a abajo indica un ensanchamiento de la distancia entre los ejes cuando los ejes giran. En este caso, la cantidad de desalineamiento es .008 de pulgada como se muestra en la figura de toma de datos.

Figura 31: Toma de datos

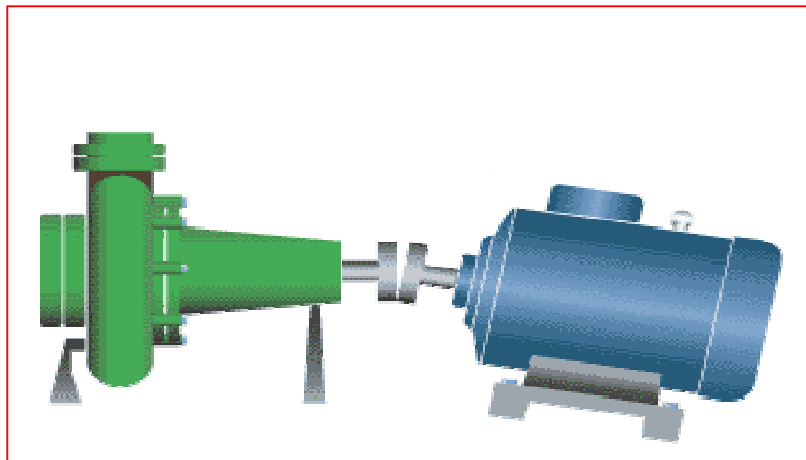


Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.50

Este dibujo muestra lo que debe hacerse para corregir el desalineamiento angular vertical:

Las patas delanteras y traseras del motor deben ser bajadas. El próximo paso es calcular cuanto hay que bajar el motor.

Figura 32 Desalineamiento angular



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.51

### **14.3. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR VERTICAL.**

Consulte su información original para saber el diámetro del acople del motor (por donde giran los comparadores), este diámetro esta designado con la letra A, y es igual a 13 pulgadas.

Indique el valor del desalineamiento angular vertical, este valor esta designado con la letra B, y es igual a .008 pulgada.

La distancia a la pata delantera esta designado con la letra C, y es igual a 24 pulgadas.

La distancia a la pata trasera esta designado con la letra D, y es iguala 40 pulgadas.

Después de tener todos los valores se procede a utilizar la siguiente fórmula para determinar las correcciones del desalineamiento angular vertical:

### **14.4. CORRECCIÓN PATA DELANTERA (F)**

$$F = B/A * C$$

$$F = .008/13 * 24$$

$$F = .015 \text{ pulgadas.}$$

### **14.5. CORRECCIÓN PATA TRASERA (T)**

$$T = B/A * D$$

$$T = .008/13 * 40$$

$$T = .024 \text{ pulgadas.}$$

Después de haber hecho estos cálculos, corrija el problema quitando o añadiendo el grosor apropiado de shims de relleno para cada pata. Utilice su dibujo para determinar si hay que añadir o quitar shims de relleno.

Procedemos a ajustar todas las patas, y tomamos una nueva serie de medidas, verificamos que el alineamiento angular esta dentro de las especificaciones del equipo.

### **14.6. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO PARALELO VERTICAL.**

Para corregir el desalineamiento paralelo vertical, use la información obtenida después de haber hecho las correcciones angulares verticales. Haga un nuevo dibujo de la vista lateral para determinar la posición paralela vertical del equipo.

Procedemos a quitar o añadir a todas las patas la mitad del valor que registra el comparador destinado a la medición paralela en la parte de abajo.

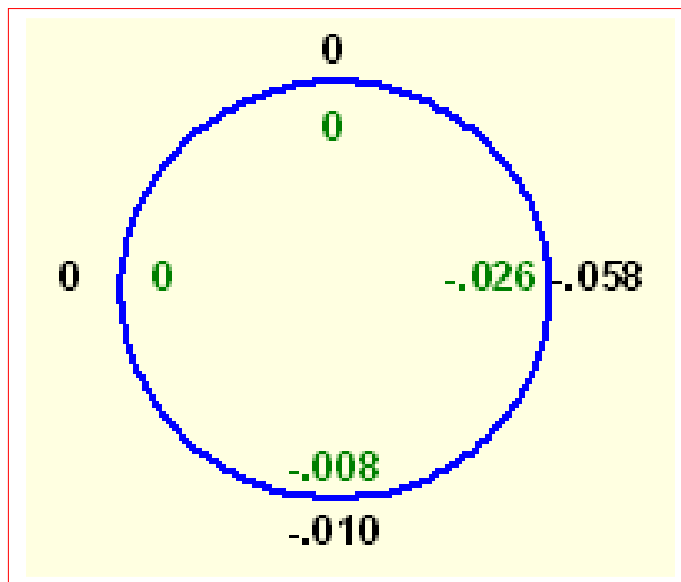
#### 14.7. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO ANGULAR HORIZONTAL.

Para los ajustes horizontales solamente se tienen que hacer alteraciones laterales o de lado a lado. Por lo tanto, no afectan el alineamiento vertical, para realizar estos movimientos es necesario que el motor este dotado de tornillos tensores o “gatos”.

Comience los cálculos angulares horizontales preparando una hoja de trabajo en la que aparezcan las medidas del comparador con todas las correcciones verticales completas. Un dibujo con vista superior debe mostrar la posición de los componentes.

La dirección del movimiento requerido esta determinada por el signo de las medidas. Una medida positiva indica que el motor esta más cerca de la bomba en ese punto, una medida negativa indica lo contrario como se enseña en la figura.

Figura 33: Corrección del



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.53

Según muestra el gráfico, el motor esta abierto horizontalmente en el lado derecho (-.026), se debe empezar a desplazar el motor desde los gatos, hasta que las medidas queden en -.013 en ambos lados, cabe anotar que el motor debe tener un tornillo (el de pivote) ajustado para evitar que se desplacen todas las patas al mismo tiempo.

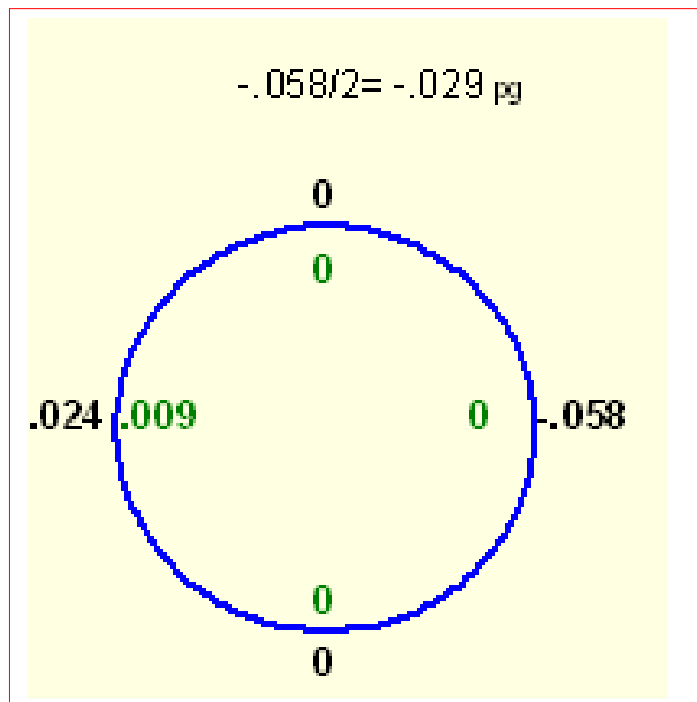
#### 14.8. CORRECCIÓN DEL DESALINEAMIENTO PARALELO HORIZONTAL.

Para corregir el desalineamiento paralelo horizontal, se utilizan la serie de medidas tomadas después de hacer las correcciones angulares horizontales. Prepare una nueva hoja de trabajo.

Consulte de nuevo los signos de las medidas para determinar la dirección del movimiento requerido. Un número negativo en el lado derecho significa que el motor se ha movido hacia la derecha del centro del acoplamiento.

Como en todo alineamiento paralelo, el movimiento requerido es igual a la mitad del desplazamiento total, en este caso deben estar todos los tornillos que ajustan el motor flojo para facilitar el desplazamiento del mismo.

Figura 34: Corrección del desalineamiento



Fuente: SKF, Condition Monitoring. Agosto. 2005. p.53

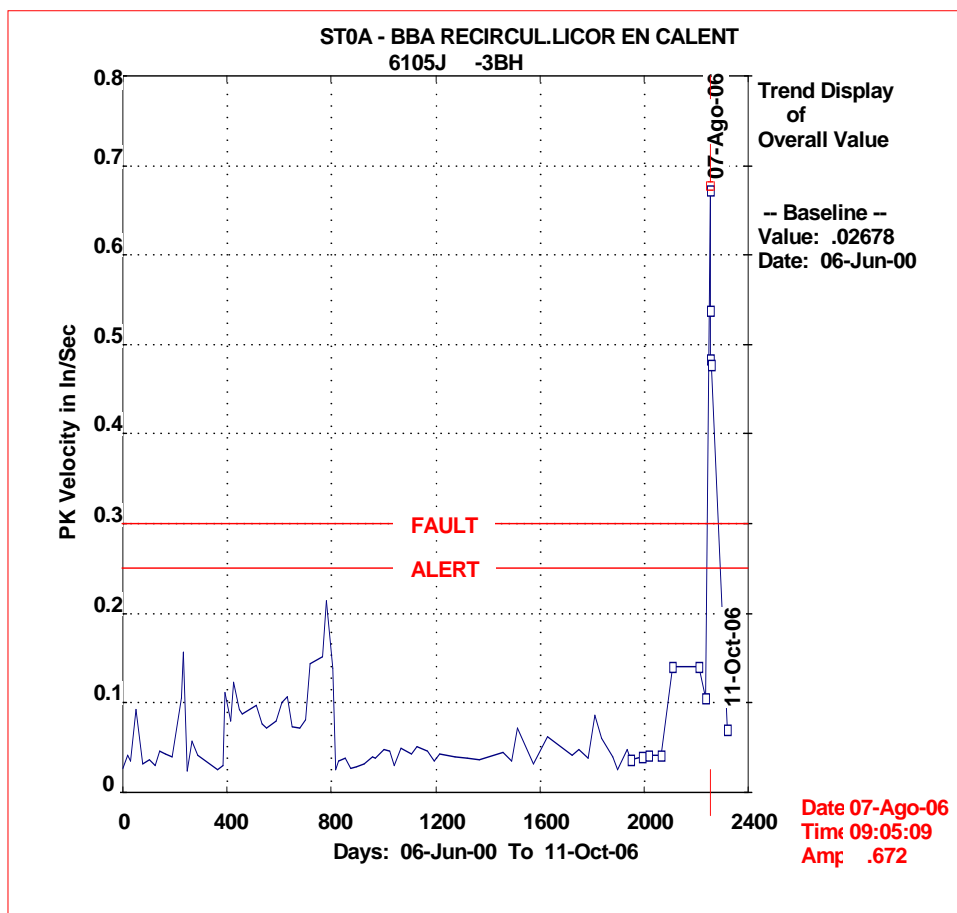
Según la gráfica se debe mover el motor de una forma pareja utilizando los gatos de alineación hacia la izquierda -.029 pulgada, después de realizar este movimiento se procede a ajustar los tornillos del motor definitivamente.

Después de corregir el desalineamiento paralelo horizontal, tome una serie de medidas finales, si todos los movimientos de ajustes fueron correctos, los componentes deben estar en perfecto alineamiento.

En la siguiente figura de tendencias vibracionales explica como ha sido el comportamiento por muchos años de un motor acoplado a una bomba; esta bomba es la encargada de bombear licor negro concentrado a 140 grados centígrados en el proceso de evaporación de una caldera de recuperación.

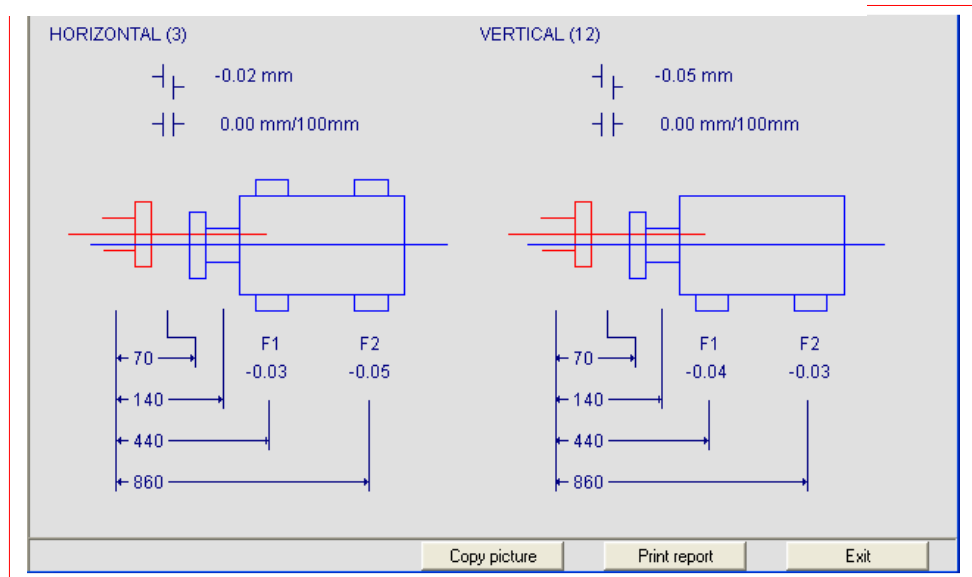
Después del mantenimiento preventivo anual queda con altas vibraciones, el diagnostico vibracional arroja un desalineamiento muy severo. Se procede a realizarle la alineación con equipo láser disminuyendo significativamente.

Figura 35: Tendencias vibracionales antes y después



Fuente: Programa de monitoreo de condición en vibraciones CSI, tendencia vibracional de una máquina desalineada. Propal S.A. Caloto Agosto. 2006.

Figura 36: Informe después de alineación con láser



Fuente: Programa de monitoreo de condición en vibraciones CSI, tendencia vibracional de una maquina desalineada. Propal S.A. Caloto Agosto. 2006.



## 15. COSTOS-BENEFICIOS

El banco de alineación esta compuesto por una bancada de acero y un par de apoyos cuyo diseño permite introducir de forma controlada desalineamientos horizontales y verticales.

Estos están soportados por una base rígida, permitiendo desalinear con facilidad los componentes utilizando un sistema de gatos instalados en cada tornillo, con el fin de darle desplazamientos laterales. Cuenta con un motor marca Siemens de 440/220 V, 2,4 HP, 60 Hz, 1125 rpm que le transmite movimiento a un reductor. El movimiento se lo transmite por medio de un par de acoples o manzanas tipo canastilla. En este banco se tiene la ventaja de simular desalineaciones en paralelo y angularmente del motor al reductor y del reductor al motor o viceversa.

Para realizar la fabricación del banco, se requiere la construcción y consecución de algunos equipos que se listan a continuación:

Tabla 1. Lista de materiales

<b>MATERIAL</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
12 metros ángulo 2 ½ x 2 ½ x ¼.	102000
40 cm2 Platina 2 ½ en acero	100000
90 cm2 platina acero al carbono 5/8"	107000
1 mt2 Lamina cero al carbono ¼"	43700
Tornillería M-10 x 40 mm Inox.	5000
Tornillería M-12 x 50 mm Inox	10000
2 kilos Soldadura 7018 3/16	90000
3 kilos soldadura 7010 3/16	85000
¼ galón pintura anticorrosivo	12000
¼ galón pintura verde manzana	12000
<b>TOTAL</b>	<b>476790</b>

Tabla 2. Costos de los Equipos

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT (\$)</b>
MOTOR	1	950000
REDUCTOR	1	1500000
<b>TOTAL</b>		<b>2450000</b>

Tabla 3. Mano de Obra.

<b>OPERARIO</b>	<b>COSTO DÍA (\$)</b>	<b>NUMERO DIAS</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
MECANICO	56320	11	619520
SOLDADOR	47580	4	190320
TORNERO	35400	3	106200
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 916040</b>

## 5.4. BENEFICIOS

**15.4.1. Beneficio social.** Al dotar el laboratorio de Dinámica de la universidad Autónoma de Occidente, de un sistema para modelar desalineaciones en ejes con su parte motriz y de potencia desarrolla la implementación de las prácticas de laboratorio, otorgaran al grupo de estudiantes de ingeniería Mecánica de la universidad Autónoma de Occidente, una comprensión amplia de la parte teórica, al poder desarrollar a través de la práctica, que normalmente a nivel industrial se emplean; esto hace que los estudiantes de las generaciones futuras, mejoren su conocimiento y a la vez dejar la inquietud, para que se creen otras prácticas de simulación de procesos o se mejoren las existentes, además se hace necesario apoyar a la universidad en el desarrollo de instrumentos pedagógicos desde propuestas elaboradas por los mismos estudiantes.

**15.4.2. Beneficio académico.** Lograr que los estudiantes vean, en condiciones práctico como funciona un sistema alineación con su parte motriz y su sistema de potencia del reductor.

## **16. CONCLUSIONES**

- Las ayudas didácticas son un apoyo para el profesorado en la ejecución de sus labores académicas e igualmente para una mejor comprensión del estudiante.
- El banco de alineación, será un fortalecimiento para las prácticas e investigaciones, que abrirá nuevas posibilidades para el reordenamiento de políticas educativas y para la innovación en materia de enfoques, métodos, estrategias y practicas pedagógicas.
- El banco de alineación servirá como punto de apoyo paya fortaleciendo en la ingenierita Mecánica.
- Los estudiantes y docentes de estas facultades sentirán el interés y el compromiso de la universidad lo cual es vital para que exista un mejor ambiente entre directivos y estudiantes.

## BIBLIOGRAFIA

Alineación y balanceo de máquinas rotatorias [en línea]. Estados Unidos: Guemisa. 2006. [Consultado el 13 marzo 2006]. Disponible en Internet: [www.guemisa.com](http://www.guemisa.com)

Alineación de ejes, guía de inicio rápido [en línea]. Mexico: Eaysy Laser, 2004. [Consultado 29 de Septiembre del 2006]. Disponible en Internet: [www.easylaser.com](http://www.easylaser.com)

MARTINEZ, Ciro. Fundamentos de alineación. Curso técnico para alienadores. Bogotá: Septiembre 2002. 25 p.

-----, Ingeniería de Vibraciones Mecánicas y Mantenimiento Nivel I. Bogotá: Septiembre. 2002. 116 p.

-----, Ingeniería de Vibraciones Mecánicas y Mantenimiento Nivel II. Bogotá: Septiembre. 2003. 130 p.

SKF. Conditioning Monitoring. Shaft Alignment. Bogotá: Agosto 2005. 100 p.

Tecnología Avanzada Para Mantenimiento [CD-ROM]. SEMINARIO DE ALINEACIÓN DE EQUIPOS ROTACIONALES (2004: Bogota). Memorias del seminario alineación de equipos rotacionales. Bogotá, 2004. 1 CD-ROM.

VIMECO. Curso de Alineación y Balanceo dinámico. Bogotá: Junio 2006. 250 p.

## ANEXOS

Foto 1. Motor con problemas

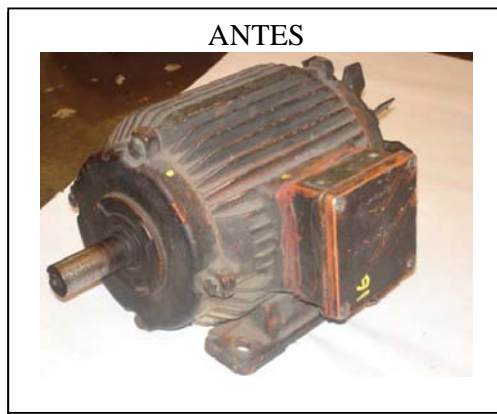


Foto 2. Motor reparado eléctrica y mecánicamente.



Fuente: Fotos tomadas a los equipos a usar en el proyecto, antes y después.

Foto 3. Reductor sin uso, presenta problemas en el

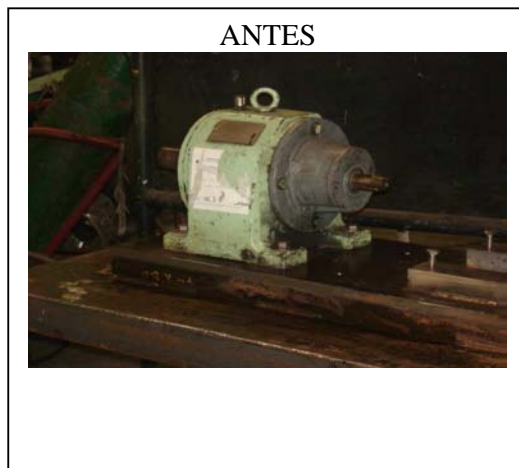
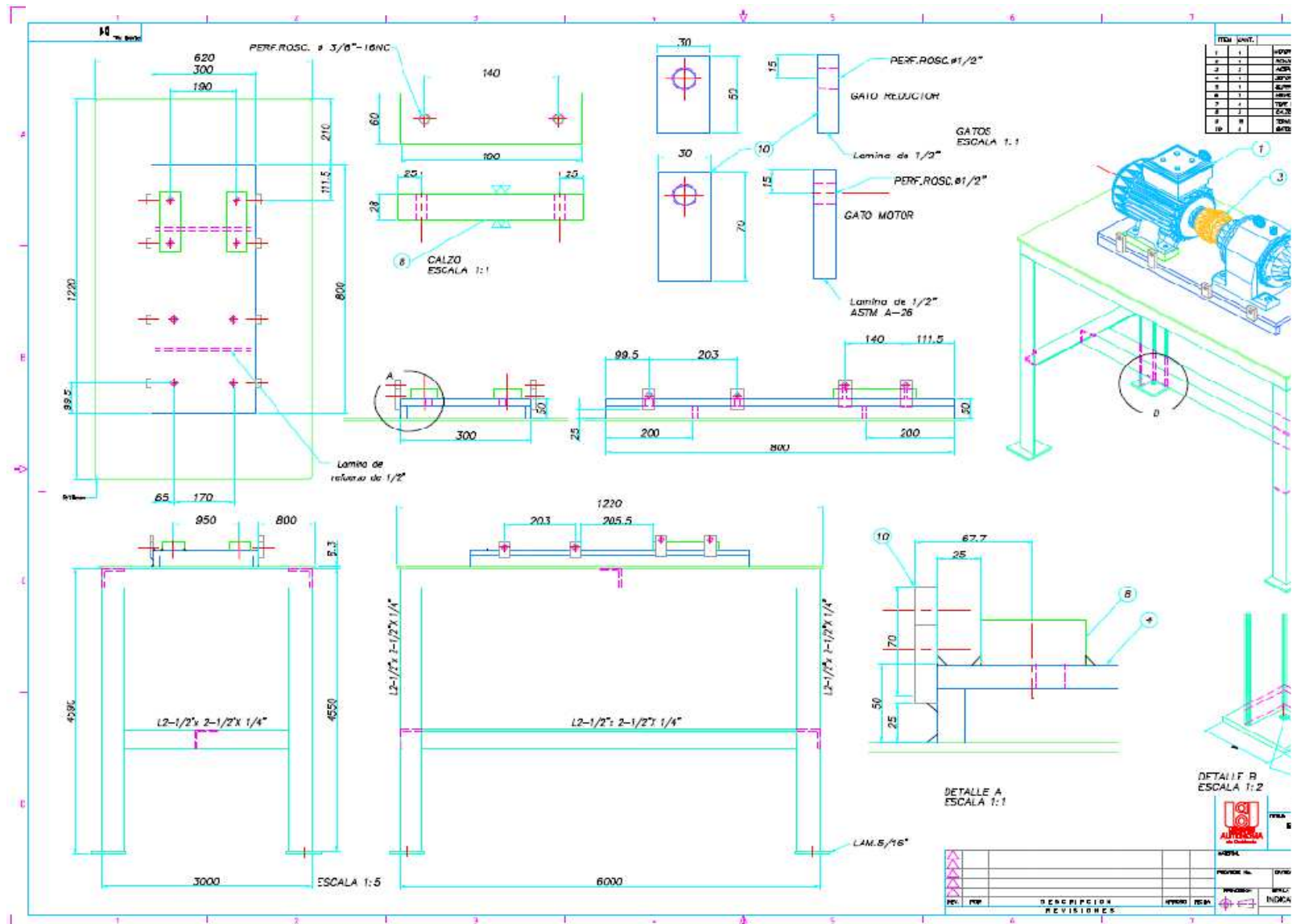


Foto 4. Reductor reparado, rodamientos nuevos y tren de engranaje arreglado.



Fuente: Fotos tomadas a los equipos a usar en el proyecto, antes y después.

# Plano N°1.Fabricación de mesa en 3 D



Fuente: Plano de fabricación del banco de alineación. En 3D.

Foto 5 Vista general del banco de alineación



Foto 6 Vista general del banco de alineación lado motriz





Foto 7. Vista general del banco de alineación lado



Foto 8. Detalle de guarda v reductor.





Foto 9. Detalle de sistema para alineación horizontal.



Foto 10. Detalle sistema de encendido.

